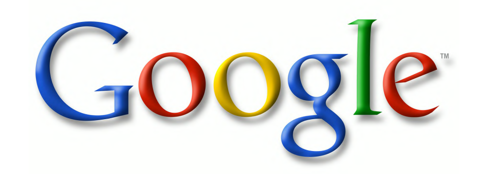
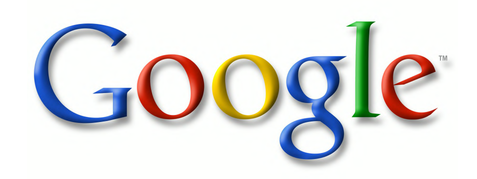



Google


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
PHYSICS
LIBRARY



SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1877.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
4003 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1877.

PARIS,

AU SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ,

31, RUE BONAPARTE.

—

1877

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 5 JANVIER 1877.

PRÉSIDENCE DE MM. QUET ET BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 décembre 1876 est lu et adopté.

Au début de la séance, on procède à l'élection du bureau.

Le Bureau de l'année 1877 se trouve ainsi composé :

M. Becquerel (Edmond), *Président;*
M. Blavier, *Vice-Président;*
M. d'Almeida, *Secrétaire général;*
M. Cazin, *Secrétaire;*
M. Mouton, *Vice-Secrétaire;*
M. Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

Le Secrétaire général donne connaissance des dons que la Société a reçus depuis la dernière séance ; des instruments de physique ont été donnés par MM. de Romilly, Duboscq et Ducretet.

Le Président remercie les donateurs ; il espère que, grâce à leur généreuse initiative, la Société, qui déjà fait profiter ses

Membres d'une bibliothèque fournie des principaux ouvrages et surtout des grandes publications qui concernent les sciences physiques, pourra bientôt étendre ses moyens d'action et donner à ceux qui ne disposent d'aucune ressource de Laboratoire les appareils nécessaires aux études qu'ils auraient en vue.

Avant de céder le fauteuil à son successeur, le Président, dans une courte allocution, expose l'état actuel de la Société et résume les progrès réalisés dans l'année qui vient de finir.

Sont élus membres de la Société : MM. Colmet d'Huard, Directeur de l'Athénée, à Luxembourg (Belgique); Denayrouze (Louis), ancien Élève de l'École Polytechnique; Faye, Membre de l'Institut; Hugon, Ingénieur civil; Lecoat (Élie), Sous-Directeur de l'*Eastern Telegraph*, à Bône (Algérie); Macé, Professeur au Lycée de Grenoble; Meurien, Pharmacien à Lille; Pache, Ingénieur en chef, à Mulhouse; Paul (Amédée), Directeur de l'*Eastern Telegraph*, à Bône (Algérie); Payn (John), Sous-Directeur de l'*Eastern Telegraph*, à Marseille; Serrin (Victor), Ingénieur; Walferdin, à Nice.

M. de Romilly complète la Communication qu'il a faite l'an dernier sur l'entraînement des gaz, et fait devant la Société des expériences qu'il n'avait pu réaliser à ce moment.

M. de Romilly entre ensuite dans l'exposé d'un autre ordre de faits relatifs à la pénétration de l'air dans l'eau. Il a étudié cette pénétration avec différentes ouvertures. Avec des ouvertures capillaires, il s'est trouvé conduit à un ensemble de phénomènes du plus haut intérêt, dont il n'est pas encore complétement maître et sur lesquels il fait espérer à la Société de revenir quelque jour. A la suite de cette étude, il fait devant la Société une expérience curieuse, l'ébullition de l'eau reposant sur une gaze à mailles assez larges.

Sur les effets d'un jet d'air lancé dans l'eau; par M. F. de Romilly.

Comme suite à des recherches sur l'entraînement de l'air ambiant par un jet d'air ou de vapeur (*Bulletin de la Société fran-*

çaise de Physique, année 1875, p. 75; *Journal de Physique*, t. IV, p. 267 et 334), j'ai fait l'étude des effets d'un jet d'air lancé dans l'eau.

Voici quelques phénomènes qui me paraissent intéressants.

1° Si le jet est lancé à la surface de l'eau, ordinairement la surface se trouble et donne des effets confus de bouillonnement et de projection; mais, si le jet est lancé normalement à la surface et qu'on éloigne peu à peu le lanceur, il se trouve une distance où la dénivellation prend l'aspect d'une poche plus profonde que large et parfaitement lisse, possédant un mouvement de rotation peu rapide.

L'expérience peut se faire dans un verre ordinaire, avec un lanceur de 1 à 2^{mm} en communication avec un gazomètre donnant une pression constante de quelques centimètres d'eau. Il arrive alors souvent que le jet rend un son faible, très-doux et très-pur; ce son se renforce si l'on donne à côté la même note sur un violon; il s'éteint et la surface de la poche liquide se trouble si la note est discordante.

Ce phénomène rappelle l'expérience classique de Savart sur les jets d'eau.

2° Lorsque le tube d'où l'air doit émerger plonge dans l'eau, voici ce qui se passe : pour se rendre un compte exact du phénomène, il faut que le tube parte du fond d'un récipient en verre plein d'eau et s'arrête à $0^{m},10$ ou $0^{m},20$ de la surface : alors, bien que l'air soit ainsi poussé de bas en haut, et par la pression et par la différence du poids spécifique, il ne s'élance point brusquement vers la surface, mais s'épanouit d'abord à la sortie et forme autour du tube une chambre sphérique d'air persistante qui descend de $0^{m},1$ à $0^{m},2$ au-dessous de l'orifice, maintenant ainsi sur une certaine longueur le bout terminal du tube hors du contact de l'eau.

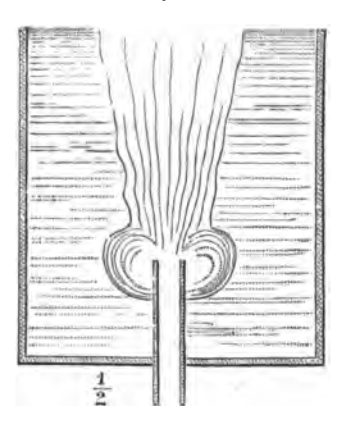
On a donc une colonne d'air ascendante, ayant une base qui a plus du triple du diamètre de l'orifice de sortie.

Cette colonne d'air est tremblante à sa périphérie; elle ne forme donc plus un cylindre régulier, mais elle a notamment une première irrégularité qui mérite l'attention : c'est qu'à peu de distance au-dessus de l'orifice elle se resserre pour s'élargir de nouveau.

Voici la représentation approchée, à l'échelle de moitié, de

l'expérience faite avec un tube mince de 6 millimètres de diamètre intérieur, avec pression au réservoir d'air de 55 centimètres d'eau et plongé de 25 centimètres (*voir* la figure).

Fig. 1.



	m
Largeur de la chambre à air	0,035
Partie étroite	0,0225
Distance de l'orifice à la partie étroite..............	0,01
Distance de l'orifice au bas de la chambre	0,012

Ces mesures, à cause du tremblement de l'air, ne peuvent être qu'approximatives.

Si le tube est terminé par une surface plane, la bulle s'épanouit immédiatement sur cette surface; si la surface est insuffisante, la bulle déborde et descend au-dessous.

Il y a là deux phénomènes simultanés, correspondant à deux effets du jet : 1° effet d'expansion latérale, qui forme la chambre d'air; 2° effet de la partie centrale du jet, qui s'élance à travers la chambre à air et produit une aspiration à la partie étroite.

Il va sans dire que ce phénomène général se modifie, comme forme, avec l'inclinaison du tube et, comme grandeur, avec la différence de pression de l'air lancé et la contre-pression de l'eau ambiante. Avec de l'air ayant des excès de pression de plus en plus faibles, la sortie finit par avoir lieu bulle à bulle et le phénomène n'apparaît plus.

Quelques nouvelles expériences de capillarité; par M. F. DE ROMILLY.

L'air peut être conduit dans l'eau : 1° soit par un tube à large section; 2° soit par un tube capillaire; 3° soit par un tube large terminé en bas par une paroi continue, percée seulement d'un trou capillaire. Dans ces trois cas, l'air se comporte différemment.

Prenons ces trois tubes en verre et plaçons-les à côté l'un de l'autre, ayant leurs bases ouvertes au même niveau. Faisons-les mouvoir ensemble, en élevant ou abaissant, à l'aide d'une crémaillère, le support où ils sont fixés, et faisons-les communiquer avec le même gazomètre servant de réservoir commun d'air comprimé. Voici ce qui se passe :

1° Dans le tube large, l'air sortira jusqu'au niveau correspondant à la pression; là il s'arrête. Si l'on remonte le tube, dès que ce niveau sera dépassé, l'air sortira.

2° Dans le tube capillaire, la même chose aura lieu, seulement le niveau réel est diminué par la force capillaire et les effets d'arrêt et de sortie de l'air auront lieu à un niveau moins profond.

3° Le tube large à trou capillaire se comporte d'une manière toute spéciale ([1]). Si le trou capillaire est de même diamètre que le tube capillaire, en plongeant les deux tubes, l'air comprimé sortira en même temps des deux orifices, et, arrivé au niveau capillaire, l'air cessera de sortir dans les deux simultanément; mais, si l'on continue à enfoncer les deux tubes, l'eau entrera immédiatement dans le tube capillaire, tandis que l'air persistera à remplir le tube à trou capillaire, et, si l'on continue à descendre, on arrivera à dépasser même un peu le niveau du tube large avant que l'eau rentre. Si alors on remonte ensemble le tube capillaire et le tube à trou capillaire, une nouvelle différence se manifeste : l'air jaillira du tube capillaire au lieu même où il avait cessé de

([1]) Pour examiner la transition entre les phénomènes du trou capillaire et ceux du tube capillaire, on termine un large tube par un tube capillaire trop court pour satisfaire à la capillarité; on voit alors, en rendant ce petit tube de plus en plus court, que le trou capillaire n'est qu'un tube capillaire dont deux les extrémités se confondent sur le même plan.

jaillir lors de la descente, mais il ne jaillira pas du tube à trou capillaire : il y aura un retard considérable; ce n'est qu'en montant plus haut que le jet s'élancera. En arrêtant le tube à trou capillaire dans la phase du retard, on pourra constater un phénomène de persistance nettement accusé : la moindre cause peut faire partir d'une façon continue ou arrêter l'air. Ainsi, si l'air arrive par un tube de caoutchouc, on peut produire indéfiniment, à la suite l'un de l'autre, les deux effets contraires : il suffit de pincer, soit brusquement, soit doucement, le tube, pour provoquer soit la sortie persistante, soit l'arrêt persistant, le niveau du tube demeurant fixe.

De la suspension et de l'ébullition de l'eau sur un tissu à larges mailles; par M. F. DE ROMILLY.

A la suite d'études que je faisais sur la capillarité, j'ai été amené à me demander si un tissu tendu sous une cloche pleine d'eau ne garderait pas cette eau au milieu de l'air ambiant, comme le font les tubes capillaires. C'est, en effet, ce qui a lieu : on prend, par exemple, une cloche en verre de $0^m,20$ de diamètre, on ferme la base ouverte par un tulle à larges mailles (2 à 3^{mm} de côté), on fixe cette cloche par un support de manière que la base ouverte soit en bas et bien horizontale, on plonge ensuite cette base dans une cuve pleine d'eau et l'on aspire l'eau à l'aide d'un tube fixé à une douille placée au haut de la cloche.

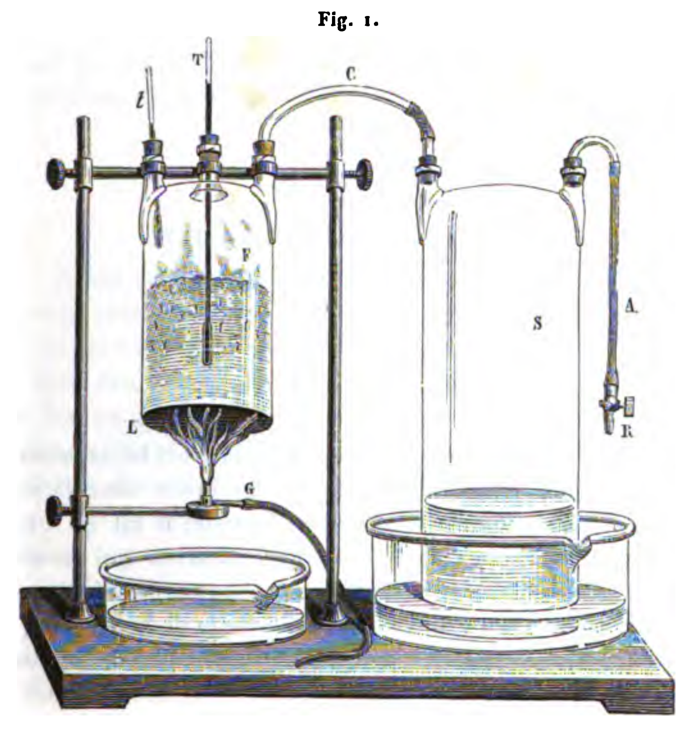
Après avoir fait monter l'eau dans la cloche à une hauteur quelconque, on ferme la rentrée de l'air par la douille au moyen d'un robinet. On peut alors retirer la cuve, l'eau se maintiendra dans la cloche. A chaque maille du tissu, on voit un ménisque très-prononcé.

La température influe sur les phénomènes capillaires; cependant l'eau peut être portée à 100° et au-dessus, sans qu'elle s'écoule. Ainsi l'on prend une cloche fermée par un morceau de tulle à sa partie ouverte, on y fait tenir de l'eau en suspens, puis on place un bec de gaz allumé sous l'eau en suspens : la flamme s'épanouit sous la surface liquide; l'eau s'échauffe et bout sans tomber. Un

tulle presque invisible peut servir indéfiniment à cette expérience. La chute n'arrive que lorsque l'ébullition est trop violente : mais, en réglant le feu au moment où un thermomètre, plongé dans l'eau, va atteindre 100°, on peut maintenir indéfiniment une ébullition tranquille.

Pour être sûr du succès de l'expérience, on fait communiquer la cloche à ébullition avec une autre, dont le fond libre reste plongé dans une cuve d'eau ; l'aspiration détermine l'arrivée de l'eau dans

Fig. 1.



F, cloche à trois tubulures de 15 centimètres de diamètre; — T, thermomètre pour l'eau; — t, thermomètre pour l'air intérieur; — C, tube large de communication; — L, tube de 1mm; — J, jarretière en caoutchouc; — G, bec de gaz; — S, grande cloche de réserve; — A, tube de caoutchouc; — R, robinet d'aspiration.

les deux à la fois. La dilatation de l'air échauffé dans la cloche à tissu partage ses effets entre les deux cloches, et l'eau ne tombe pas. Avec une seule cloche, la dilatation de l'air et la vapeur feraient tomber peu à peu de petites masses d'eau, et la cloche pourrait se vider avant que l'eau arrivât à l'ébullition.

Il est à remarquer que ni avant ni pendant l'ébullition, les bulles formant les ménisques ne se déplacent pour monter à la surface; elles demeurent stables, de petites bulles d'air d'abord, de vapeur ensuite, se forment sur la paroi ou même sur les fils du tissu et demeurent en contact avec les ménisques, puis grossissent peu à peu et montent à la surface.

Cette expérience d'ébullition de l'eau sur un tissu réussit très-couramment avec une cloche de $0^m,60$ à $0^m,70$ de diamètre et du tulle de 2^{mm} de côté.

SÉANCE DU 19 JANVIER 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 janvier est lu, et, avant qu'il soit adopté, M. de Romilly présente quelques observations au sujet du dernier compte rendu de la Société. Il dit qu'il ne veut pas occuper la Société à faire une rectification qui serait trop longue et désire qu'on se réfère, pour connaître les résultats obtenus, à la Note qu'il a insérée dans le *Bulletin* de la Société (année 1875, p. 75) et à celle qui se trouve insérée dans le *Bulletin* de l'année actuelle, p. 2-8.

M. Belloc, Ingénieur à l'Isle-sur-Serein, est élu membre de la Société.

M. Cavaillé-Coll adresse une lettre dans laquelle il offre de répéter, devant les membres de la Société qui voudront bien se réunir chez lui, les expériences d'acoustique dont il a été témoin. On réussit à améliorer les conditions acoustiques d'une salle d'un monument péchant par excès de sonorité à l'aide de simple fils de coton tendus suivant certaines directions. La réunion est fixée au jeudi 25 janvier, à 1 heure, chez M. Cavaillé-Coll.

Sont nommés membres du conseil :

Membres résidants :	*Membres non résidants :*
MM. D'Arlincourt.	MM. Crova, de Montpellier.
Fernet.	Secchi, de Rome.
Marey.	Spottiswoode, de Londres.
Marié-Davy.	Terquem, de Lille.

M. Quet annonce que M. le Ministre de l'Instruction publique a accordé à la Société les Œuvres de Fresnel.

M. Niaudet présente les comptes de la Société.

Il est procédé à l'élection de trois membres pour composer la Commission des comptes. Sont élus :

MM. Quet.
Fernet.
Duboscq.

M. Duboscq présente de nouvelles expériences d'optique qu'il réalise à l'aide de son appareil de projection pour la lumière polarisée, et qui sont fondées sur la persistance des impressions sur la rétine. Il est fait usage de la lumière Drummond pour ces expériences.

M. Rouart présente, au nom de M. Bisschop, un petit moteur à gaz qui fait un travail d'environ 6 kilogrammètres par seconde. Les particularités nouvelles sont les suivantes. Le mélange explosif est allumé par un petit bec de gaz qui ne s'éteint pas par l'explosion, parce qu'une soupape se ferme brusquement après que ce bec a enflammé le mélange. Il n'y a pas de circulation d'eau pour refroidir le cylindre ; la surface du cylindre présente un grand développement qui rend suffisant le refroidissement par l'air ; la machine est d'ailleurs maintenue à une température assez élevée, ce qui paraît avantageux, en empêchant la condensation des vapeurs acides. Il n'y a pas de graissage du piston, lequel est poli et ferme exactement quand la machine est chauffée au point voulu. Cette particularité exige qu'on chauffe préalablement le cylindre pour la mise en marche.

Le modèle mis sous les yeux de la Société faisait fonctionner deux machines électromagnétiques de Gramme ; sa dépense est de 350 litres de gaz par heure.

M. Montenat fait l'expérience du tuyau chantant en faisant des-

cendre dans un tuyau métallique, soit une toile métallique portée d'avance à une haute température, soit une corbeille de toile métallique contenant de la braise chimique allumée. Les sons obtenus sont très-intenses.

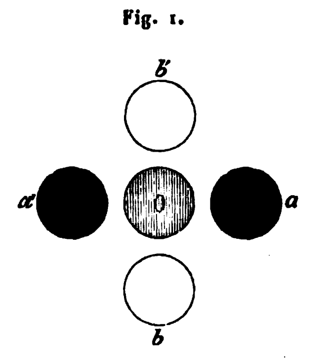
Expériences de projection où l'on utilise la persistance des impressions sur la rétine; par M. J. Duboscq.

Quand on ajoute à un appareil ordinaire de projection une pièce mobile, à laquelle on peut communiquer un mouvement de rotation rapide, un certain nombre d'expériences classiques deviennent, grâce à la persistance des impressions sur la rétine, susceptibles d'une forme inaccoutumée et intéressante.

En premier lieu, si l'on adapte au porte-lumière un diaphragme à trou circulaire, suivi d'une lentille à court foyer et d'un prisme d'Amici (dit à *vision directe*), produisant une légère déviation pour la couleur rouge, le spectre linéaire connu, à bords circulaires, se transforme, quand on fait tourner rapidement le prisme, en un anneau coloré, rouge en dedans et violet en dehors.

Mais c'est surtout dans les expériences de polarisation que l'em-

Fig. 1.



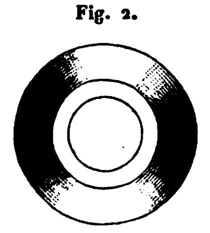
ploi du mouvement de rotation fournit des dispositions remarquables. Il suffit, en effet, de communiquer à l'analyseur un mouvement rapide de rotation pour observer sur le tableau de projection une figure annulaire, présentant, suivant ses divers diamètres, les apparences que l'on observe d'ordinaire successivement quand on

fait tourner l'analyseur à la main. Nous allons indiquer l'apparence que prennent dans ces conditions les expériences les plus connues.

1° *Polarisation blanche.* — Placez en arrière d'un diaphragme à trou circulaire un polariseur, une lentille à court foyer, et enfin un analyseur biréfringent, monté de manière à pouvoir être animé d'un rapide mouvement de rotation. Quand on tourne lentement l'analyseur, l'image centrale (*fig.* 1), correspondant au rayon ordinaire, demeure immobile, et l'image extraordinaire tourne autour de celle-ci : les deux images éprouvent d'ailleurs les changements connus d'intensité.

Grâce à la rotation rapide, l'image centrale prend une teinte grise d'intensité moyenne, et l'image extraordinaire s'épanouit en un anneau sombre suivant le diamètre *aa'* (*fig.* 2), et présentant

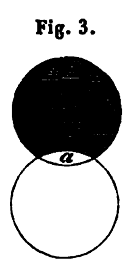
Fig. 2.



une intensité lumineuse croissant jusqu'au diamètre perpendiculaire *bb'*.

Si l'on choisit le trou du diaphragme de manière que les deux images empiètent l'une sur l'autre (*fig.* 3), la portion commune *a*

Fig. 3.

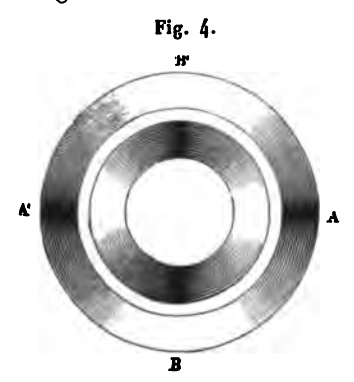


fournira un anneau lumineux, sur le fond gris de l'image ordinaire; et ce premier anneau est entouré d'un second présentant l'apparence de celui de la *fig.* 2.

Enfin, si l'on revient au diaphragme à trou étroit, mais en em-

ployant comme polariseur un prisme biréfringent, on obtiendra l'apparence plus compliquée (représentée par la *fig.* 4) de deux anneaux concentriques dont les parties obscures sont situées sur deux diamètres rectangulaires.

Fig. 4.

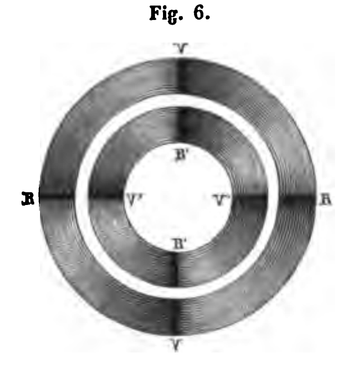


Polarisation chromatique et rotatoire. — Conservons les dispo-

Fig. 5.

sitions du paragraphe précédent, et interposons entre l'analyseur et

Fig. 6.



le polariseur une lame de quartz perpendiculaire à l'axe, d'épais-

seur quelconque ; on obtiendra, par la rotation rapide de l'analyseur, une image centrale blanche, entourée d'un cercle sur lequel les couleurs complémentaires occuperont des diamètres rectangulaires (*fig.* 5). Par exemple, à un diamètre horizontal rouge correspond un diamètre vertical offrant le vert complémentaire. La *fig.* 6 se rapporte au cas où le polariseur est un prisme biréfringent.

Toutes les pièces nécessaires à ces expériences sont disposées pour s'adapter à mon appareil pour la projection des expériences de polarisation.

Procédé employé pour atténuer la résonnance des salles de réunion. Lettre de M. A. Cavaillé-Coll.

Paris, le 19 janvier 1877.

Monsieur le Président,

« J'ai l'honneur d'appeler l'attention de la Société sur une expérience d'acoustique qui a pour objet d'atténuer au degré voulu la résonnance excessive de certains édifices, tels que les églises, les salles de conférences et de concerts.

» Cette expérience, très-facile et peu coûteuse à reproduire, consiste à tendre dans l'intérieur du bâtiment des fils de laine ou de coton très-flexibles et presque invisibles, qui neutralisent d'une manière efficace les résonnances dues à la réflexion des ondes sonores par les parois de l'édifice et facilitent la perception distincte de la parole et des sons.

» Ce procédé très-curieux paraît avoir été découvert en Angleterre : le journal *la Nature* et *les Mondes*, de M. l'abbé Moigno, ont rendu compte, en 1873, d'une expérience faite par M. Robert S. Gregg, pour corriger la répercussion gênante des sons dans la cathédrale de Saint-Fint-Barre (Cork), Irlande, dont la nef a une très-grande hauteur.

» L'année dernière, une Commission de savants a fait usage de ce même procédé pour améliorer les conditions acoustiques du Palais de l'Industrie, à Amsterdam, où j'ai placé un grand orgue. Le journal *le Monde*, dans son feuilleton scientifique de ce jour, 19 jan-

vier 1877, donne quelques détails sur l'expérience que je viens de renouveler à l'église Notre-Dame-des-Champs, à Paris.

» J'ai pensé, monsieur le Président, que la Société française de Physique prendrait quelque intérêt à cette communication, et je me mets à sa disposition et à la vôtre pour vous soumettre, soit à l'église Notre-Dame-des-Champs, soit dans mon établissement, les essais que j'ai cru devoir faire pour me rendre compte de l'effet acoustique de ces fils presque invisibles.

» Veuillez agréer, monsieur le Président...

» A. CAVAILLÉ-COLL. »

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. l'abbé Fontbonne, aumônier de l'hôpital militaire de Bône; Huet, inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine; Gossart, à Mareuil-sur-Ay.

Le Président donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique l'informant qu'il donne à la Société les *Annales scientifiques de l'École Normale* à partir du tome II.

Le Secrétaire général lit un passage d'une lettre de M. de Waha, professeur à Luxembourg, relatif à diverses expériences d'électricité.

M. Marey présente le résultat d'expériences sur la décharge de la torpille. Ces expériences, faites au moyen de la méthode graphique, ont montré que, si l'on excite un nerf de l'appareil électrique, il se produit un flux d'électricité qui retarde de $\frac{1}{80}$ de seconde sur l'excitation du nerf; le flux dure $\frac{1}{14}$ de seconde. Dans l'intégrité de l'animal les décharges volontaires sont composées d'une série de flux successifs, qui, suivant la température, varient de 20 à 140 secousses par seconde. L'appareil inscripteur, qui était le signal de M. Desprez, traduit par ses vibrations le nombre des flux de la décharge.

L'électromètre de M. Lippmann montre que le sens du courant est du dos au ventre de l'animal.

Les courants de la torpille font naître dans une bobine d'induction des courants qui actionnent aussi le signal inscripteur. Ces courants induits sont inverses de ceux de la torpille et naissent au début de chacun des flux de la décharge.

Dans la décharge de la torpille, comme chacun des flux dure environ dix fois plus que l'intervalle qui les sépare les uns des autres, il se fait une addition de ces flux qui accroissent graduellement l'intensité de la décharge.

Tous ces phénomènes correspondent de point en point à ceux que la myographie signale dans la production du travail musculaire.

M. Gariel présente un tableau graphique donnant immédiatement, sans calcul ni construction, pour une lentille d'une distance focale quelconque, la position de l'image d'un point dont la distance à la lentille est donnée.

M. Mascart communique quelques résultats relatifs à l'électricité atmosphérique. La seule quantité bien définie est la valeur du potentiel électrique en un point déterminé de l'atmosphère, et la bonté des méthodes dépend de l'exactitude avec laquelle cette valeur est fournie. M. Mascart discute à ce point de vue les divers instruments qui ont été employés, la mèche de Volta, la sphère de Dellmann, l'écoulement liquide de M. Thomson. Dans une série d'observations faites avec des mèches formées de papier à filtre imbibé de nitrate de plomb, MM. Mascart et Joubert ont constaté que la disposition des couches de niveau que peut faire prévoir la théorie est conforme à l'expérience dans le cas d'un ciel pur. L'électricité est alors à peu près toujours positive.

Diverses expériences d'électricit. Lettre de M. de Waha.

« Luxembourg, le 11 janvier 1877.

» Monsieur,

».... Je profite de l'occasion pour vous communiquer un résumé succinct de quelques expériences sur les effets mécaniques de l'électricité statique.

» 1° Deux pointes métalliques sont dressées verticalement au-dessus d'une plaque métallique, sur laquelle on a répandu une couche d'huile grasse. Ces pointes sont mises en communication avec les pôles opposés d'une machine de Holtz. La double effluve électrique dirigée de cette manière contre le liquide isolant qui recouvre la plaque y provoque la formation de deux figures électriques circulaires, dont le diamètre va en augmentant avec la distance des pointes à la plaque. Par un temps favorable, les contours de ces figures sont nettement limités, et le diamètre de chacune dépasse 40 centimètres. Elles sont formées par un grand nombre de rides profondes, d'une mobilité extrême, et sillonnant l'huile dans toutes les directions. On n'observe pas de différence frappante entre les deux figures.

» 2° Dans un vase en verre se trouve du mercure, qui est en communication métallique avec l'un des pôles d'une machine de Holtz; le pôle opposé vient se terminer en une pointe isolée, dressée à une certaine distance du mercure. Si l'on verse du pétrole dans ce vase, on le voit bientôt entrer dans une espèce d'ébullition des plus violentes sous l'influence de l'effluve électrique. La couche de ce dernier liquide, continuant à augmenter d'épaisseur, l'ébullition se ralentit; mais bientôt des milliers de gouttelettes très-fines de mercure se détachent du fond, traversent le pétrole et dépassent les bords du vase: elle se répand tout autour sur la table, à une distance assez considérable.

» Si l'on remplace le mercure par de l'eau, le phénomène est tout autre. L'eau s'élève sous la forme de cônes tournants qui pénètrent dans le liquide supérieur et du sommet desquels des bulles nombreuses se lancent sans cesse vers le haut.

» Inutile de rappeler l'analogie entre ces volcans mobiles et les éruptions qui se produisent sur le Soleil.

» 3° Le fond d'un vase en verre est traversé par une pointe métallique reliée à l'un des pôles d'une machine de Holtz, l'autre pôle étant en communication avec le sol. Si l'on vient à verser du pétrole dans ce vase, il se forme un jet de ce liquide dont la hauteur atteint un mètre. L'huile minérale, dans cette expérience, est en même temps aspirée et repoussée par l'extrémité de la pointe, car le jet se produit alors même que la pointe n'est pas entièrement submergée.

» 4° Une étincelle électrique qui éclate dans le voisinage d'une plaque en verre noircie au noir de fumée y dessine une certaine figure dans laquelle on distingue des lignes plus sombres qui paraissent être le résultat de l'interférence de deux ou plusieurs ondes d'ébranlement provoquées par la même étincelle.

» Si, en poursuivant cet ordre d'idées, on fait éclater deux étincelles en même temps aux extrémités d'un tube en verre noirci à l'intérieur, et dont la longueur dépend de la force des étincelles, on obtient une ligne d'interférence qui, sous la forme d'un anneau circulaire, tapisse les parois intérieures du tube.

» En examinant la forme de cet anneau au microscope, on trouve que souvent il est formé par trois anneaux parallèles, dont il est possible de mesurer les distances respectives; par suite, l'expérience permet d'assigner un minimum de durée à l'étincelle électrique.

» La position de l'anneau du milieu, par rapport aux deux étincelles qui en ont provoqué la formation, permet, en théorie du moins, d'évaluer l'intervalle de temps qui sépare les deux étincelles et par suite la vitesse de propagation de l'électricité à travers le conducteur qui, dans une disposition convenable, relierait les deux étincelles.

» Veuillez agréer,

» De Waha. »

Sur les caractères des décharges électriques de la Torpille;
par M. Marey.

Des expériences antérieures, faites en inscrivant les mouvements que la décharge d'une Torpille provoque dans un muscle de Grenouille, m'avaient montré les deux faits suivants : Si l'on excite le bout périphérique d'un *nerf électrique* coupé, on provoque un courant qui retarde environ de $\frac{1}{14}$ de seconde sur l'instant de l'excitation du nerf (1).

La durée de ce courant, mesurée par une méthode assez ana-

(1) *Comptes rendus*, 9 octobre 1871.

logue à celle de Guillemin, m'a paru être d'environ $\frac{1}{14}$ de seconde [1]. L'analogie de ce retard et de cette durée avec ce qui s'observe quand on provoque la secousse d'un muscle en excitant le bout d'un nerf moteur coupé m'a fait désirer de pousser plus loin la comparaison et de rechercher s'il n'y aurait pas des analogies aussi grandes entre la *décharge électrique* volontaire que fournit la Torpille et les *contractions musculaires* que les animaux exécutent volontairement.

Fig. 1.



1. Signaux électromagnétiques produits par une décharge de Torpille,
2. Mêmes phénomènes, avec plus de fréquence des courants successifs.

Je crois avoir démontré comment les mouvements volontaires sont composés d'une série de secousses ou petits raccourcissements des muscles qui s'ajoutent et se fusionnent parfois complétement dans la contraction ou le tétanos. Serait-il possible de révéler des flux successifs d'électricité dans la décharge d'une Torpille comme on révèle, au moyen du myographe, les secousses multiples d'un tétanos musculaire ? Le *signal* électromagnétique de M. Marcel Deprez me sembla propre à tenter cette épreuve ; en effet, cet instrument, doué d'une mobilité extrême, peut inscrire, en une seconde, plus de six cents courants électriques successifs.

J'ai eu récemment l'occasion de faire l'expérience projetée. Appliquant sur les deux faces de l'organe électrique d'une Torpille deux plaques de métal reliées chacune à un fil de l'appareil inscripteur, je provoquai la décharge en excitant l'animal. L'instrument rendit un son strident annonçant qu'il avait vibré, et je trouvai inscrite sur le papier une courbe sinueuse (*fig.* 1).

Il était donc évident que la décharge d'une Torpille est un acte complexe formé de courants successifs qui se suivent à des intervalles très-courts : $\frac{1}{60}$ et $\frac{1}{140}$ de seconde dans les cas ci-dessus re-

(1) *Comptes rendus*, 16 octobre 1871.

présentés. Ce résultat confirmait les analogies déjà soupçonnées entre l'acte électrique et l'acte musculaire.

Il me semblait intéressant de savoir si les flux électriques dont se compose la décharge présentent la même intensité; le tracé précédent semblerait le faire croire, mais cette égalité apparente est imposée aux tracés par la disposition même de l'instrument dont l'armature, à chacune de ses oscillations, butte contre un obstacle absolu qui limite l'excursion du style.

Je modifiai la construction du signal, et plaçant une pièce élastique entre l'armature et les électro-aimants, j'en fis un appareil à indications variables dont le style, par ses excursions plus ou moins grandes, devait exprimer l'intensité de l'effort exercé sur l'intermédiaire élastique.

En faisant passer à travers l'instrument une longue décharge comme on en obtient en piquant les centres nerveux de la Torpille, je recueillis le tracé (*fig.* 2), qui fait assister à toutes les phases de l'affaiblissement des flux électriques, du commencement à la fin de la décharge.

Assurément on ne saurait, d'après les amplitudes des signaux successifs, mesurer l'intensité des courants qui les ont produits, car l'élasticité de l'intermédiaire compressible varie dans un rapport inconnu avec le degré de la compression; et, d'autre part, l'intensité de chaque flux présente des phases assez complexes. En tout cas, la *fig.* 2 montre



Fig. 2. — Tracé d'une longue décharge de Torpille, avec indication de la décroissance graduelle de l'intensité du flux.
(La ligne 2 est la suite de la ligne 1, et la ligne 3 celle de la ligne 2.)

clairement l'épuisement graduel des courants de la Torpille, épuisement de tout point comparable à celui des secousses d'un muscle qui se fatigue.

Le signal électromagnétique permet encore de constater que, si l'on prend pour inducteur la décharge d'une Torpille, on recueille dans le circuit induit des courants capables d'actionner le signal. La *fig.* 3 est le double tracé du courant inducteur (ligne 1) et du courant induit (ligne 2).

On remarquera dans cette figure que les signaux de l'inducteur et ceux de l'induit sont de même nombre, ce qui constitue une différence avec les courants induits par une pile, ceux-ci se produisant à la clôture et à l'ouverture du circuit inducteur.

Peut-être, dira-t-on, s'est-il produit, dans l'expérience précédente, deux courants induits pour chacun des flux de la Torpille; on comprendrait que le plus intense de ces courants fût seul ca-

Fig. 3.



Courants induits par une décharge de Torpille.

pable d'actionner le signal. C'est ainsi que cela se produit souvent quand on prend pour inducteur le courant d'une pile trop faible : la rupture seule actionne le signal qui est placé sur le circuit induit.

Cette supposition n'est pas admissible; le courant induit que chaque flux de la Torpille provoque arrive au début de ce flux; on en peut juger sur les tracés, toutes les fois que le signal de l'inducteur présente une certaine durée. Dans ces cas, il y a synchronisme parfait entre le début de l'inducteur et le signal de l'induit.

C'est donc aux courants induits de clôture que correspondraient ceux qui se produisent à chacun des flux de la Torpille; toutefois, cette expression ne peut être prise à la lettre, puisque le circuit par lequel passent les décharges de la Torpille est toujours fermé sur lui-même. J'appellerai donc ces courants induits *initiaux*, et

je montrerai, d'après le sens dans lequel ils cheminent, qu'ils correspondent bien à un induit inverse que provoque le début d'un courant inducteur.

En résumé, la décharge volontaire d'une Torpille est formée de l'addition d'une série de flux successifs et rappelle, par sa complexité, la nature de la contraction musculaire, qui se compose d'une série de secousses dont les effets s'ajoutent pour produire le raccourcissement du muscle.

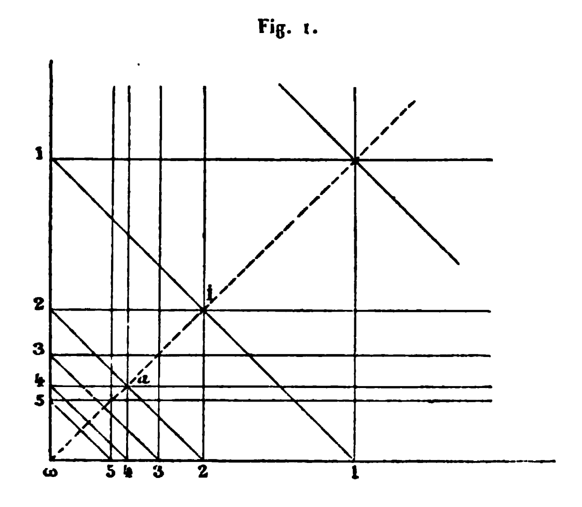
Abaque graphique des lentilles; par M. Gariel.

La formule classique des lentilles

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f},$$

qui donne facilement la position relative des foyers conjugués, ne

Fig. 1.



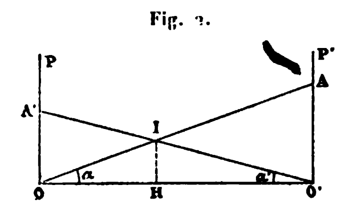
laisse pas cependant que d'être fastidieuse, lorsque l'on a à répéter un certain nombre de fois le même calcul ; il y a avantage, surtout lorsqu'il n'est pas nécessaire d'avoir une très-grande exactitude, à remplacer la formule et les calculs correspondants par un tableau graphique.

On obtient immédiatement ce tableau en posant $x = \frac{1}{p}$ et $y = \frac{1}{p'}$ et l'on a des droites $x + y = \frac{1}{f}$ inclinées à 45° sur les axes, chaque droite correspondant à une valeur donnée de f. Ce tableau (*fig.* 1), qui peut rendre quelques services, n'est cependant pas d'un usage très-commode, parce que, les axes devant être divisés d'après les relations $x = \frac{1}{p}$, $y = \frac{1}{p'}$, il n'y a pas proportionnalité entre les longueurs mesurées et les nombres qu'elles représentent, de telle sorte que l'on ne peut que difficilement se servir de valeurs qui ne correspondent pas à des lignes tracées sur le tableau.

On peut tracer un tableau, qui, s'il ne présente pas la disposition ordinaire des abaques graphiques, jouit, en revanche, de la propriété que l'on peut, par proportionnalité, y mesurer toutes les valeurs. Nous sommes arrivé à cette construction en cherchant la projection conique du tableau précédent, ou autrement en cherchant la figure dont ce tableau serait la perspective. Mais on peut arriver directement à sa construction comme il suit, et cette méthode nous paraît plus simple :

Convenons de porter sur deux droites parallèles OP et O'P' (*fig.* 2), et à partir de deux points O et O' pris sur une perpen-

Fig. 2.



diculaire commune à ces droites, des longueurs O'A et OA' qui mesurent à une échelle déterminée les quantités p et p'. Il est facile de reconnaître que, si le point d'intersection I de ces lignes se meut sur une parallèle à OO', située à une distance IH de cette droite égale à f, les valeurs p et p' sont les distances de deux foyers conjugués à la lentille, dont la distance focale est f. On a, en effet,

$$\frac{OO'}{AO'} = \frac{OH}{IH} \quad \text{et} \quad \frac{OO'}{A'O} = \frac{O'H}{IH},$$

et, en ajoutant membre à membre,

$$OO'\left(\frac{1}{AO'}+\frac{1}{A'O}\right)=\frac{1}{IH}(OH+O'H),$$

soit

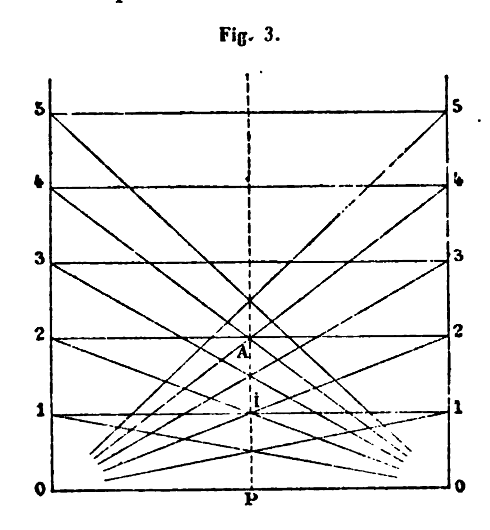
$$\frac{1}{AO'}+\frac{1}{A'O}=\frac{1}{IH},$$

ou d'après des données

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}.$$

Le tableau que l'on pourra employer, dont la *fig.* 3 donne une idée, et qui se trouve plus développé dans une planche placée à la fin du volume, comprendra :

Fig. 3.



1° Des lignes parallèles, également distantes et dont la distance à la ligne fixe OO′ mesurera f;

2° Des lignes divergeant de O et coupant la ligne verticale opposée à des distances égales; chaque ligne correspondra à la valeur de p, qui sera mesurée à l'échelle déterminée par la distance de O′ à la ligne;

3° Des lignes divergeant de O′ et satisfaisant aux mêmes conditions que les précédentes.

On se servira facilement de ce tableau en remarquant que les valeurs de p, p' et f qui se correspondent sont celles qui sont dé-

terminées par trois droites appartenant respectivement à chacun des systèmes précédents et se coupant en un même point.

Si l'on veut que le tableau puisse être employé dans tous les cas et puisse également servir pour les lentilles convergentes et les lentilles divergentes, il faut que l'une au moins des séries de lignes divergentes se continue au delà de la verticale correspondante ; ces lignes, qui font alors avec OO' des angles obtus, correspondent à des valeurs négatives de p ou de p'.

Il peut n'être pas inutile de faire remarquer encore que, si les points d'intersection ne se trouvent pas sur des lignes déjà tracées, il suffirait de diviser *proportionnellement* les longueurs comptées perpendiculairement à O et O' et comprises entre les lignes les plus voisines pour avoir la valeur exacte ; cette division peut le plus souvent se faire avec une exactitude suffisante à simple vue.

En employant un tableau complet, on peut résoudre immédiatement toutes les questions dans lesquelles, connaissant deux des trois quantités p, p', f, on veut trouver la troisième.

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Rey, Professeur de Mathématiques à l'École régimentaire du génie à Arras, est élu membre de la Société.

M. R. Benoît décrit les expériences qu'il a faites sur un électromètre construit par lui-même dans le système Thomson.

A l'occasion de cette Communication, M. Cornu dit qu'il s'associe complétement aux conclusions de M. Benoît : il fait remarquer que l'électromètre Thomson est le résultat d'études très-savantes ; que tous les organes accessoires qui ont été ajoutés à l'organe principal sont indispensables au bon fonctionnement de l'appareil, lequel a été construit en vue de mesurer directement et avec précision les différences du potentiel. Si quelques observateurs ont cru

devoir simplifier la construction de l'électromètre, non-seulement en supprimant les organes accessoires, mais encore en altérant profondément la forme de l'organe principal, ainsi que l'énergie de la charge constante, ils ne doivent pas s'étonner de voir que l'appareil ainsi transformé ne remplit plus le but proposé, et encore moins accuser l'électromètre Thomson, complet et bien réglé, de ne pas fournir directement et avec précision les différences du potentiel.

M. Mouton dit quelques mots sur la nécessité de la table de graduation qu'il a faite pour l'électromètre Thomson dont il s'est servi. Cet électromètre avait été fourni par la maison Elliot, de Londres.

M. Edmond Becquerel résume les recherches antérieures sur la partie infra-rouge du spectre solaire, lesquelles sont fondées sur l'emploi de la pile thermo-électrique, du thermomètre ordinaire, de la photographie, de la phosphorescence.

M. Niaudet présente, au nom de M. Mouchot, un alambic qui peut fonctionner au soleil. Les rayons solaires sont concentrés par un miroir parabolique, sur une chaudière en métal noirci, qu'enveloppe un vase de terre. L'inventeur de ce nouveau moyen de chauffage étudie en ce moment en Algérie l'application en grand de ses appareils.

Sur l'électromètre à quadrants, de M. Thomson; par M. Benoit.

On sait que la théorie de l'électromètre à quadrants, de M. Thomson, conduit à la formule générale suivante :

$$M = k[V(V_1 - V_2) - \tfrac{1}{2}(V_1^2 - V_2^2)],$$

dans laquelle M représente le moment du couple qui fait tourner l'aiguille, V, V_1 et V_2 les potentiels auxquels sont chargés respectivement l'aiguille et chacune des paires de secteurs, et k une constante caractéristique qui définit la sensibilité de l'instrument (1). Si l'on opère dans des conditions expérimentales telles que V_1 et

(1) *Voir* E. Mascart, *Traité d'électricité statique*, t. I, p. 394; Paris, 1876; et J. Clerk Maxwell, *A Treatise on electricity and magnetism*, t. I, p. 272; Oxford, 1873.

V_2 soient égaux en valeur absolue et de signes contraires, le dernier terme s'annule, et l'équation prend la forme très-simple

$$M = kV(V_1 - V_2),$$

c'est-à-dire que le moment M, et, par conséquent, la déviation (puisque la petitesse des angles permet de confondre les fonctions trigonométriques) sont proportionnels au produit $V(V_1 - V_2)$. Or cette proportionnalité théorique est réalisée d'une manière très-inégale par les divers électromètres. M. Mouton, par exemple, s'est servi, pour ses recherches sur l'induction, d'un électromètre dans lequel cette condition n'était pas satisfaite au delà d'une déviation de 1°,5 environ, et pour lequel il a été obligé de construire empiriquement une courbe de graduation par un procédé analogue à celui qu'ont employé MM. de la Provostaye et Desains pour le galvanomètre (¹). Dans un appareil du même genre, où les secteurs étaient formés de simples lames planes, MM. Angot et Branly ont trouvé une proportionnalité satisfaisante jusqu'à 3 degrés au moins (²). Mais quand l'électromètre est construit dans de bonnes conditions, on peut dépasser beaucoup les limites précédentes, ce qui permet de mesurer les forces électromotrices ou les différences de potentiel, à l'exemple des électriciens anglais, directement par les indications de l'instrument.

J'emploie depuis longtemps un électromètre de petites dimensions dont la boîte a 4 centimètres de diamètre sur 6 millimètres d'épaisseur. L'aiguille est suspendue par un fil de cocon et dirigée dans un azimut fixe par un petit barreau aimanté collé sur son axe. Cet axe porte en outre un petit miroir, et les déviations sont mesurées, comme de coutume, par les déplacements d'une image lumineuse sur une échelle divisée placée en face de l'appareil. J'ai soumis cet électromètre, dans le but de construire sa courbe de graduation, à un grand nombre d'expériences faites par diverses

---

(¹) L. Mouton, *Études expérimentales sur les phénomènes d'induction électrodynamique*, p. 22; Paris, 1876. M. Boltzmann, dans des recherches sur la constante diélectrique des isolants, s'est aussi servi d'un électromètre à quadrants, dont il corrigeait les indications par une table de graduation empirique, mais j'ignore dans quelles conditions et entre quelles limites il opérait. (Mascart, *loc. cit.*, t. I, p. 497, et *Pogg. Ann.*, t. CLI, p. 482 et 531; 1874.)

(²) *Annales scientifiques de l'École Normale supérieure*, 2ᵉ série, t. III, p. 263.

méthodes, et en poussant les déviations jusqu'à des limites très-supérieures à celles entre lesquelles il fonctionne habituellement.

I. Établissant sur les deux paires de secteurs respectivement des potentiels V_1 et V_2, je faisais varier le potentiel V de l'aiguille.

II. Je laissais, au contraire, V constant et faisais varier V_1 et V_2.

Dans les deux cas précédents, si V_1 et V_2 sont égaux et de signes contraires, la théorie donne

$$M = kV(V_1 - V_2),$$

et, comme le moment M est défini, en toute rigueur, par le sinus de la déviation α, on voit que l'instrument, dans les limites où il satisfait à la théorie, doit vérifier la relation

$$\frac{V(V_1 - V_2)}{\sin\alpha} = \frac{1}{k} = K.$$

III. Je mettais l'une des paires de secteurs en communication avec la terre, et portais simultanément l'autre paire et l'aiguille à un même potentiel. Dans ces conditions, V_2 par exemple devient zéro, $V_1 = V$, et la théorie conduit à la relation

$$\frac{V^2}{\sin\alpha} = \frac{2}{k} = 2K.$$

IV. Je mettais en communication avec l'électromètre un condensateur chargé à un certain potentiel, et partageais ensuite la charge entre ce premier condensateur et un second. Les capacités des condensateurs et celles de l'électromètre étant connues, il est facile d'en déduire dans chaque cas les valeurs des potentiels.

Cette méthode, moins exacte que les précédentes, est soumise à une cause d'erreur provenant de la déperdition qui se produit, dans les condensateurs les mieux isolés, pendant la durée des expériences.

Les potentiels étaient empruntés aux pôles de piles ouvertes. J'avais à ma disposition, à cet effet, 250 éléments Marié-Davy, parfaitement montés et isolés. La différence de potentiel était

directement mesurée, dans chaque expérience, en dehors de l'électromètre, par la décharge d'un condensateur étalon au travers d'un galvanomètre Thomson (méthode de Laws); j'ai toujours trouvé, à quelques millièmes près, une exacte proportionnalité entre la tension et le nombre des éléments. Les déviations étaient lues successivement à droite et à gauche du zéro, en intervertissant les communications. L'échelle, divisée en millimètres, était placée à 75 centimètres du miroir. Voici quelques résultats :

Méthode I. $\begin{cases} V_1 = +6, & V_1 - V_2 = 12, \\ V_2 = -6. \end{cases}$

V.	Dév. gauche.	Dév. droite.	Moyenne.	Angle α.	$\frac{V(V_1-V_2)}{\sin\alpha}$.
				° ′	
20	51,0	51,0	51,00	15. 6,7	7070
40	103,0	102,5	102,75	3.55,2	7050
60	154,5	154,5	154,5	5.49,2	7100
80	207,0	207,0	207,0	7.43,0	7150
100	260,0	265,0	262,5	9.38,7	7160
120	315,0	322,0	318,5	11.30,2	7220
150	395,0	402,0	398,5	13.59,5	7440

Méthode II. $\begin{cases} V_1 = V, \\ V_2 = 0, \end{cases}$

V.	Dév. gauche.	Dév. droite.	Moyenne.	Angle α.	$\frac{V^2}{\sin\alpha}$.
				° ′	
10	10,00	9,5	9,75	0.22,33	15390
20	38,75	38,5	38,62	1.28,5	15540
30	89,00	89,0	89,00	3.23,00	15250
40	156,00	157,0	156,5	5.53,5	15590
50	252,00	250.0	251,00	9.15,2	15550
60	370,00	360,0	365,00	12.58,5	16030
70	525,00	505,0	515,00	17.14,2	16520

Il résulte des expériences précédentes que :

1° Le rapport $\frac{M}{\sin\alpha}$ reste sensiblement constant, ou, en d'autres termes, l'appareil satisfait aux conditions que suppose sa théorie jusqu'à une déviation de 10 degrés environ. Au delà, ce rapport augmente, c'est-à-dire que les déviations, comme il fallait s'y attendre, deviennent trop petites pour que leur sinus puisse représenter la véritable valeur des potentiels.

2° Si l'on construit la courbe de graduation, en prenant pour abscisses les sinus des déviations et pour ordonnées les potentiels V, cette courbe est rectiligne jusqu'à sin 10°, et remonte ensuite en s'infléchissant vers l'axe des y et présentant une concavité supérieure;

3° Si l'on construit la même courbe en prenant pour abscisses les résultats immédiats de l'expérience, c'est-à-dire les déplacements de l'image lumineuse (inscrits dans la quatrième colonne des tableaux précédents), déplacements qui mesurent les tangentes des angles doubles des déviations, on obtient une ligne, d'abord droite, et qui se confond avec la précédente (tout étant supposé ramené à la même échelle), mais qui s'en sépare ensuite pour s'en écarter de plus en plus, et s'infléchir vers l'axe des x en présentant une concavité inférieure;

4° Tant que ces deux lignes sont droites et coïncident, c'est-à-dire jusque vers 5 ou 6 degrés, on peut prendre l'une pour l'autre, et mesurer directement les potentiels par les indications de l'électromètre; au delà de cette limite, ces indications fourniraient des valeurs trop élevées.

La *valeur absolue* des potentiels avec lesquels on construit ces courbes de graduation a-t-elle une influence sur leur forme, ou, en d'autres termes, sur la fonction de la déviation qui représente le produit $V(V_1 - V_2)$? La théorie ne permet pas de le supposer. Voici le tableau d'une expérience faite, par la méthode II, dans des conditions assez différentes des précédentes, l'électromètre étant soumis à l'action d'un puissant barreau aimanté, qui réduisait sa sensibilité dans le rapport de 13 à 1 environ, et permettait, par conséquent, de mettre en présence des potentiels beaucoup plus élevés. La pile qui chargeait les secteurs aux potentiels V_1 et V_2 était mise en communication avec la terre dans chaque cas par *son milieu* [1].

Les résultats concordent exactement avec ceux des expériences précédentes.

---

[1] J'ai vérifié, avec beaucoup d'exactitude, dans la même expérience, les conséquences de la formule générale signalée par M. Mouton (*loc cit.*, p. 27), en mettant cette pile à la terre successivement par son milieu et chacun de ses pôles; mais j'ai jugé inutile de charger ce tableau de résultats étrangers à la question. Une autre conséquence qu'il est facile de vérifier est la suivante: le moment M est nul, et il n'y a pas de déviation toutes les fois qu'on a $V = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$.

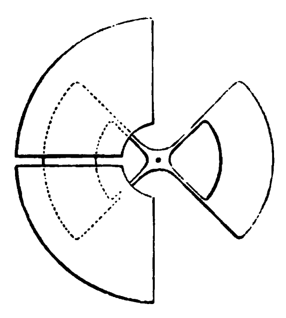
Méthode III. $V = 120$.

$V_1 - V_2$.	Dév. gauche.	Dév. droite.	Moyenne.	Angle α.	$\frac{V(V_1 - V_2)}{\sin \alpha}$.
20	41,00	40,50	40,75	1°.33′,2	88500
40	72,25	81,5	81,87	3.6, 7	88500
60	125,00	123,00	124,00	4.41,3	88000
80	168,00	165,00	166,50	6.15,5	88100
100	212,5	207,25	209,87	7.49,0	88200
120	257,00	250,00	253,5	9.20,0	88800

J'ai fait aussi quelques essais, en faisant intervenir des potentiels beaucoup plus élevés, obtenus à l'aide d'une machine statique; mais la difficulté de conserver dans des appareils imparfaitement isolés, des charges qui ne se reproduisent pas constamment, rend les expériences peu concluantes.

La très-grande inégalité des électromètres, constatée par divers observateurs, au point de vue de l'exactitude avec laquelle ils satisfont aux exigences de la théorie, ne tient évidemment qu'aux conditions de construction de chacun d'eux. Une boîte spacieuse et surtout de grande épaisseur est probablement une circonstance défavorable. La forme de l'aiguille a aussi sans aucun doute une grande importance. La figure ci-dessous représente, dans leurs

Fig. 4.



vraies dimensions, l'aiguille et deux des quadrants de mon électromètre. Au lieu d'une forme analogue à celle d'un 8, adoptée dans un grand nombre d'instruments, j'ai reproduit la disposition indiquée par M. Clerk Maxwel (*loc. cit.*, p. 237).

L'aiguille est constituée par deux secteurs plats, découpés dans un même anneau, et réunis l'un à l'autre et à la tige qui les porte

par leurs rayons extrêmes. Il résulte de la grandeur de l'angle au centre, qui est droit, et de la forme exactement circulaire du contour : 1° que, dans la position d'équilibre, le milieu de l'aiguille correspondant à l'intervalle de deux secteurs, ses bords correspondent à leurs milieux, en sorte que les limites des secteurs d'une part et des aiguilles de l'autre sont aussi éloignées que possible; 2° que lorsque l'aiguille se déplace, la portion qui vient se placer entre les secteurs, et sur laquelle agissent presque exclusivement les forces horizontales qui la font tourner, conserve toujours rigoureusement la même figure. La déformation du système total, dans les petites déviations, est ainsi réduite, en quelque sorte, à son minimum. L'instrument se rapproche ainsi autant que possible des conditions exigées par la théorie, qui suppose les positions relatives des conducteurs en présence invariables. Ces détails de construction présentent une certaine importance, car ils permettent de substituer, dans la mesure des quantités physiques, des appareils à indications simples et rationnelles, aux appareils qu'il faut graduer empiriquement.

Sur l'observation de la partie infra-rouge du spectre solaire au moyen des effets de phosphorescence (1); par M. Edmond Becquerel.

On sait que les limites visibles du spectre formé par un faisceau lumineux ne comprennent pas tous les rayons de ce faisceau, et que si au delà du violet, dans la partie qui a reçu le nom d'ultra-violet, se trouvent des rayons dont la longueur d'onde est plus petite que celle des rayons visibles les plus réfrangibles, en deçà du rouge il en existe d'autres dont la longueur d'onde augmente rapidement, à mesure que la réfrangibilité diminue.

On a pu étudier la partie ultra-violette du spectre, ainsi que les raies et bandes qui s'y trouvent, au moyen des actions chimiques, comme je l'ai montré d'abord en 1842 (2), puis comme on l'a fait ensuite à l'aide de diverses méthodes très-précises; mais jusqu'ici

(1) Mémoire lu à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 24 juillet 1876.
(2) *Bibliothèque univ. de Genève*, t. XL, 1842.

les recherches très-intéressantes, entreprises sur la partie infra-rouge, n'ont permis de reconnaître que quelques particularités de cette région; les observations exigeaient une intensité assez grande des rayons actifs et par suite une certaine largeur du faisceau lumineux, ainsi que des dimensions très-appréciables des appareils, piles thermo-électriques ou réservoirs thermométriques. Cependant, MM. Fizeau et Foucault (1), en faisant usage de thermomètres dont la capacité avait un très-petit volume, ont indiqué dans un spectre, obtenu au moyen d'un prisme en flint, une large bande obscure dans la partie infra-rouge et à peu près à la même distance de R que la ligne D; M. Fizeau a même donné la longueur d'onde correspondant à cette bande (1445); d'un autre côté, on a observé, à l'aide d'une pile thermo-électrique linéaire, l'existence de plusieurs maxima et minima d'intensité dans cette région spectrale.

Lorsqu'on augmente l'intensité des rayons lumineux, l'effet produit sur la rétine peut dépasser un peu la ligne A, au delà du rouge, et, ainsi que l'ont montré MM. Matthiessen et Brewster, on n'étend pas beaucoup le spectre par ce moyen, et à peine peut-on indiquer quelques lignes noires moins réfrangibles que A.

Les actions chimiques, dans certains cas, peuvent s'étendre aussi en dehors du rouge prismatique, comme cela a lieu avec les composés d'argent préalablement impressionnés (2); mais on ne s'éloigne pas encore beaucoup de l'extrême rouge visible.

Les effets de phosphorescence, sans aller aussi loin que les effets calorifiques, peuvent néanmoins permettre d'obtenir des indications assez curieuses sur la constitution de cette partie de l'image spectrale. J'ai déjà montré (3) comment des rayons, qui n'ont aucune action sur la rétine, peuvent agir sur les matières phosphorescentes pour détruire l'excitation produite sur elles par les rayons bleus ou violets, et permettent d'étudier le spectre, dans cette région, autrement que par les effets calorifiques qui s'y produisent. Il suffit, en effet, de fixer avec un peu de gomme sur une surface, carton ou verre, une substance très-phosphorescente comme

---

(1) *Comptes rendus*, t. XXV, p. 447; 1847.

(2) Edm. Becquerel, *la Lumière, ses causes et ses effets*, t II, p. 91; *Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 302.

(3) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXII, p. 334; *Comptes rendus*, t. LVXVII, p. 302; 1873. Edm. Becquerel, *la Lumière, ses causes et ses effets*, t. I, p. 141.

un sulfure alcalino-terreux impressionnable, pour manifester, après l'impression préalable de la surface à la lumière diffuse, l'extinction que la partie infra-rouge du spectre peut produire en agissant pendant quelques instants. Quand on opère avec un spectre convenablement épuré et étalé, on reconnaît que cette extinction fait apparaître des parties inégalement actives, c'est-à-dire des espaces correspondant à des bandes ou raies noires du spectre solaire; mais cette observation est difficile, même en élevant la température de la surface après l'action du spectre, et l'on n'a que des indications assez vagues sur les positions des bandes les plus fortes. Cependant, avec la plupart des substances impressionnables, on a les mêmes effets, avec une même image prismatique, si le temps d'exposition à la lumière est suffisant.

J'ai pu rendre visible d'une manière continue une partie de cette région infra-rouge qui a échappé jusqu'ici à toute observation oculaire immédiate, en opérant comme il suit : dans le volet de la chambre noire, au moyen de deux fentes verticales faites au volet, on fait pénétrer à l'aide d'un héliostat deux faisceaux de rayons solaires parallèles. L'un des faisceaux, le premier, donne au moyen d'un prisme à arêtes verticales et d'une lentille l'image spectrale que l'on veut étudier; je me suis servi de préférence d'un prisme en sulfure de carbone d'un angle de 60°; ce premier spectre tombe sur la surface enduite de matière phosphorescente. Le second faisceau est reçu sur un prisme en flint blanc, dont l'arête est également verticale et qui est placé près du premier; on peut faire varier la position de ce prisme de façon à superposer la partie ultra-violette du spectre qu'il donne sur la partie infra-rouge du premier spectre et à promener les diverses parties très-réfrangibles de cette seconde image prismatique sur la partie infra-rouge de la première image. On n'interpose pas de lentille sur la route du second faisceau lumineux, et l'on donne à la seconde ouverture du volet une largeur assez grande, afin d'éviter la production des raies ou bandes de l'ultra-violet qui pourraient gêner l'observation que l'on doit faire; le premier spectre doit seul donner les lignes et bandes obscures. On peut même, en avant de la fente qui donne passage au second faisceau lumineux, placer un verre coloré en bleu par le cobalt qui élimine la partie rouge jaune et verte, c'est-à-dire la plus lumineuse du second spectre, et rend plus facile l'observation du phénomène à étudier.

Si l'on projette ce système de deux spectres à régions extrêmes superposés, sur une surface phosphorescente préparée comme il va être dit ci-après, on observe l'effet suivant : dans la partie infra-rouge du spectre à bandes, la matière impressionnable excitée par l'ultra-violet du deuxième spectre a sa phosphorescence détruite, mais inégalement ; et sur une certaine étendue correspondant à la partie infra-rouge, on a l'apparence de parties inégalement éclairées; cet effet est très-curieux, qui rend visible d'une manière continue une certaine portion de la partie infra-rouge, ne se produit pas dans toutes les circonstances et avec tous les corps impressionnables; en voici le motif :

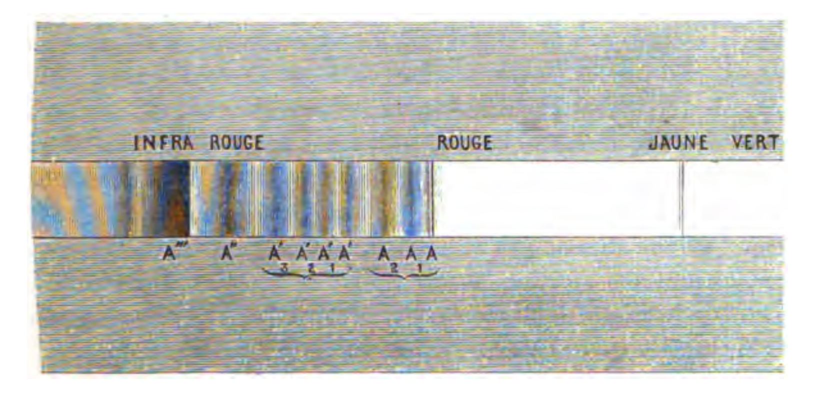
D'abord cette extinction des corps phosphorescents, dont je me suis souvent occupé, exige, ainsi que je l'ai fait voir, un certain temps pour se produire, et il faut que la matière phosphorescente commence à devenir lumineuse, puis s'éteigne, et qu'il s'établisse une sorte d'équilibre la laissant par place dans un certain état d'obscurité. Cet effet indique qu'il y a à régler une question d'intensité entre les parties inversement actives des spectres, ce que l'on fait en déplaçant le deuxième spectre et en faisant varier la largeur de la seconde fente du volet. D'un autre côté, tous les corps phosphorescents ne peuvent manifester immédiatement cet effet; si la substance ne conserve que pendant peu de temps l'impression lumineuse, on ne peut rien observer : tel est le cas du spath fluor, de la chaux carbonatée, des composés d'uranium, des platinocyanures et de certaines substances organiques. Si la matière conserve pendant très-longtemps une assez grande intensité lumineuse, c'est-à-dire a une très-grande capacité pour la lumière, alors la partie infra-rouge du premier spectre n'arrive pas à rendre suffisamment obscure par places la région éclairée par l'ultra-violet du second spectre, et cette région reste toujours sensiblement illuminée de la même manière. Tel est le cas des sulfures de calcium, de baryum et de strontium plus ou moins phosphorescents; ces composés peuvent bien manifester des effets, mais autrement et, ainsi qu'on l'a dit plus haut, l'action des rayons différemment réfrangibles étant successive et non simultanée.

Mais il y a un composé phosphorescent qui se trouve dans des conditions très-favorables pour permettre l'observation du phénomène dont il s'agit, c'est la blende hexagonale, due à M. H. Sainte-

Claire Deville, et obtenue phosphorescente, il y a plusieurs années, par M. Sidot, substance qui est vivement lumineuse, mais qui présente un décroissement d'effet plus rapide que les sulfures alcalino-terreux, mais moins que la chaux carbonatée. Je dois même ajouter que les différents échantillons que j'ai essayés ne sont pas également propres à bien manifester les bandes de l'infra-rouge ; celui qui m'a le mieux réussi était un échantillon moyennement lumineux, mais dont l'extinction de phosphorescence était plus rapide que celle produite par d'autres qui étaient plus vivement phosphorescents.

Voici ce que j'ai pu observer au moyen de cet échantillon : la partie active de l'infra-rouge comprend au delà de A un espace un peu plus étendu que celui compris entre la ligne A et la ligne D, et au delà duquel les effets ne peuvent plus être observés. Avec le

Fig. 1.



prisme en sulfure de carbone et une lentille en crown, on a, après A, deux bandes ou lignes qui paraissent aussi fortes que A, et que j'ai appelées A_1 et A_2 ; ensuite on arrive à un groupe de quatre bandes ou lignes, que je distingue sous la dénomination de groupe (A', A'_1, A'_2, A'_3), dont les trois premières sont à peu près équidistantes et la quatrième, la moins réfrangible, plus éloignée; au delà, en A'', doit se trouver une large bande assez diffuse et en A''', près de la limite où l'observation est possible, se trouve une large bande à bords définis, surtout du côté le plus réfrangible. Cette bande A''' se trouve à peu près à la même distance de A que celle qui sépare

A de D, et paraît être la même que celle observée par MM. Fizeau et Foucault en 1847, au moyen des effets calorifiques produits sur des thermomètres à très-petite capacité. Au delà de A‴ il y a apparence d'une ou deux autres bandes quand le spectre est très-intense, mais qui sont très-difficiles à distinguer.

Il faut remarquer que l'expérience donne des effets lumineux contraires à ceux que je décris, car les parties qui correspondent à des raies ou bandes d'absorption, étant éclairées par les rayons ultra-violets du second spectre, sont des parties lumineuses pendant l'observation, tandis que là où il n'y a pas d'absorption, l'action de ces rayons étant détruite, il y a obscurité; on a donc une image négative de la disposition des bandes d'absorption, qu'il faut restituer dans son véritable sens pour l'interpréter comme je l'ai fait ci-dessus.

Un des effets les plus caractéristiques de ces observations est la vivacité de la partie active de l'infra-rouge comprise entre A″ et A‴, et qui est plus grande qu'avant et après ces limites. Cet effet se traduit, d'après ce qui vient d'être dit, par un espace relativement plus obscur que les parties voisines au moment de l'action simultanée des spectres à parties extrêmes superposées. L'apparition de cette bande obscure, correspondant à une partie très-active de l'infra-rouge, se remarque immédiatement avec la plupart des substances étudiées et apparaît même quand les autres maxima et minima d'action ne sont pas appréciables. On la retrouve également avec les sulfures alcalino-terreux, mais en opérant autrement et, comme je le faisais antérieurement, en faisant agir l'infra-rouge seul sur la surface, après l'action excitatrice de la lumière diffuse.

J'ai fait usage d'un prisme et d'une lentille en sel gemme, ainsi que d'un prisme et d'une lentille en spath-fluor, et j'ai observé cette même partie très-active A″ A‴; mais la pureté de ces substances étant moindre que celle du verre et du sulfure de carbone, je n'ai pu reconnaître les autres maxima et minima d'action. L'apparition de cette même bande active montre que le phénomène ne dépend pas de la nature de la matière impressionnable ni de celle du prisme, mais bien de la constitution de l'agent lumineux; avec ces différents prismes, les limites de l'espace actif ont paru être les mêmes. Une remarque assez curieuse, c'est que la lumière Drummond, étudiée de la même manière, a présenté une partie très-ac-

tive dans l'infra-rouge, correspondant à cette région A'' A''', et de même pour la lumière solaire.

Le bord le plus réfrangible de la bande obscure A''' est assez bien limité pour permettre d'en déduire approximativement sa position angulaire par rapport à celle des raies du spectre lumineux B, D et F, et, par conséquent, l'indice de réfraction correspondant. Quant aux autres lignes, sauf celles qui sont près de A, même dans les spectres très-étalés, elles ont des bords assez mal définis.

L'évaluation de la longueur d'onde des rayons de cette région est assez délicate à faire; les spectres des réseaux n'ayant pas offert une intensité assez grande, je me suis servi de la position des bandes d'interférence obtenues en faisant réfléchir le faisceau solaire, avant son passage au travers de l'ouverture rectiligne du volet, sur un appareil donnant les anneaux colorés des lames minces d'air, et par un procédé analogue à celui de MM. Fizeau et Foucault. Quand la lumière est très-vive et le spectre peu étalé, on a une série de bandes de G à A''' qui, pour être observées, peuvent être au nombre de dix ou douze, et dont les positions sont alors faciles à fixer. En admettant que dans la partie infra-rouge elles se continuent d'après la même loi que dans la partie lumineuse, là où les longueurs d'onde sont connues, on a eu, d'après plusieurs expériences et avec un prisme en sulfure de carbone :

	Parties du spectre.		Indice de réfraction.	Longueur d'onde en millionièmes de millimètre.	
Infra-rouge	A'''	bord le plus réfrangible.	»	1310	
		milieu	»	1265?	
		bord le plus réfrangible (1)	1,5877	1220	
	A'		1,5992	840	
Spectre lumineux.	A		1,6051	761,5	longueurs d'onde supposées connues.
	B		1,6114	687,3	
	D		1,6240	589,2	

la bande A''' serait aussi comprise entre les longueurs d'onde 1200 et 1300.

(1) Ou bord le moins réfrangible de la partie active très-caractéristique A'' A'''.

Si l'on calcule les longueurs d'onde de A′ et de A‴, d'après la formule de Cauchy, dans laquelle l'indice n est donné par une expression de la forme $a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$, λ étant la longueur d'onde et a, b, c des constantes déduites des observations correspondant à A, B et D, on arrive à des nombres plus élevés que les valeurs précédentes. Du reste, ces déterminations expérimentales ne sont qu'approximatives et sont à reprendre, et je n'ai donné ici que les premières observations faites au moyen de cette méthode.

On voit donc que l'on peut suivre, par vision directe, quelques-uns des effets produits dans la région infra-rouge du spectre. On ne peut observer ainsi que quelques bandes d'absorption un peu larges qui se trouvent dans cette région, et encore est-il nécessaire d'avoir une très-grande intensité lumineuse pour cela. Il est probable que beaucoup de bandes et de lignes plus étroites échappent à ce moyen d'observation; car les bords des images ne sont pas bien arrêtés, sauf ceux de la partie A″A‴, et cet effet doit être attribué à une illumination latérale par diffusion, laquelle peut impressionner les parties voisines des points directement influencés par les rayons du spectre.

D'un autre côté, les observations ne s'étendent guère beaucoup au delà de A‴ et ne comprennent pas toute l'étendue de l'espace où les phénomènes calorifiques peuvent être observés; cela peut dépendre des limites entre lesquelles les effets de phosphorescence sont appréciables et qui peuvent ne pas être les mêmes que celles du spectre calorifique. Néanmoins ce nouveau mode d'observation permet de faire quelques remarques intéressantes : ainsi, par exemple, le verre et plusieurs corps solides ne font subir que peu de changement à l'image que l'on observe; mais un écran d'eau distillée, qui ne change que peu l'action de la partie AA′, diminue l'intensité de la région très-active qui touche à A‴.

J'ai essayé de former un oculaire de spectroscope qui permît d'observer la partie infra-rouge de l'image spectrale, comme on peut le faire pour la partie ultra-violette au moyen du sulfate de quinine; mais la grande intensité nécessaire à l'observation des effets dont il s'agit et le peu de netteté des bords des bandes d'absorption ne m'ont donné jusqu'ici aucun résultat bien satisfaisant : c'est une question que j'étudie actuellement.

SÉANCE DU 2 MARS 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 février est lu et adopté.

Le Secrétaire donne lecture du compte rendu de la commission des comptes ; les conclusions mises aux voix sont adoptées.

M. Cornu donne à la Société son *Mémoire sur la détermination de la vitesse de la lumière :* il signale quelques-unes des difficultés que ce travail a présentées et qu'il a vaincues.

M. le Dr Javal présente un optomètre de son invention, dont il se sert depuis douze ans pour mesurer l'astigmatisme.

Au cours de son exposition, M. Javal a donné de nombreux détails sur les symptômes qui accompagnent l'astigmatisme et sur la fréquence de cette affection ; il en résulte que ce défaut visuel serait extrêmement commun et qu'il y aurait lieu de le rechercher chez toutes les personnes qui se plaignent d'une fatigue de la vue à laquelle les verres sphériques n'auraient pas porté remède.

M. Javal termine sa communication par un aperçu sur la possibilité de corriger des défauts visuels plus compliqués que l'astigmatisme ; il fait appel aux membres de la Société qui remarqueraient, sur eux-mêmes, des aberrations remarquables de la vision : il mettrait avec plaisir ses verres coniques à leur disposition pour étudier ces anomalies dont l'existence est à peine signalée par les auteurs et qu'il ne serait peut-être pas impossible de corriger.

M. Bertin rend compte en quelques mots de la méthode employée dans les expériences qu'il a faites en collaboration avec M. Garbe dans le but de montrer que les forces qui agissent dans le radiomètre sont intérieures.

Sur les applications d'un appareil nouveau, destiné à déterminer l'astigmatisme visuel; par M. Javal.

1. *En quoi consiste l'astigmatisme.* — L'œil est un instrument d'optique des plus imparfaits; il n'est jamais achromatique, il n'est généralement pas aplanétique; de plus, il est rare que, dans l'état de repos de l'accommodation, les rayons parallèles viennent former leur foyer sur la rétine; quand ce foyer se forme en avant de la rétine, il y a myopie; quand il se forme derrière cet écran sensible, il y a hypermétropie.

Parmi les défauts que je viens de signaler, les premiers n'entraînent pas de grands troubles visuels et l'on n'a pas encore essayé de les corriger; les derniers trouvent, au contraire, un remède bien connu dans l'emploi des verres concaves ou convexes, suivant le cas.

Le défaut de structure de l'œil que je me suis occupé d'étudier est celui auquel le physicien anglais Whewell a donné le nom, bien approprié, d'*astigmatisme*. C'est une *aberration monochromatique* dont le siége réside tantôt dans la cornée, tantôt dans le cristallin, le plus souvent à la fois dans ces deux milieux réfringents.

Un œil affecté d'astigmatisme ne voit pas également bien les lignes tracées dans diverses directions.

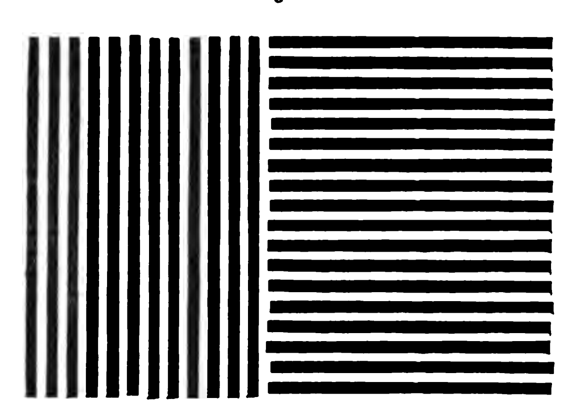
Prenons pour objet des lignes droites, dont nous multiplierons le nombre, pour rendre le phénomène plus saillant par sa répétition.

On épingle sur un tableau (*fig.* 1) une feuille sur laquelle sont tracées des lignes horizontales et verticales avec la même épaisseur de trait et le même espacement. Si l'on a affaire à une assemblée nombreuse, il n'y a que bien peu de personnes auxquelles les deux espèces de lignes paraissent identiques : les unes distinguent mieux les horizontales; les autres, un peu plus nombreuses, distinguent mieux les verticales. Bien entendu, si l'on retourne la feuille de 90°, les mêmes personnes distingueront mieux les lignes qu'elles voyaient d'abord plus mal et *vice versâ*.

Les personnes, très-peu nombreuses, qui voient également bien les verticales et les horizontales, ne peuvent même pas se vanter d'être toutes absolument exemptes d'astigmatisme. A plusieurs, les

lignes paraissent égales parce que les unes et les autres sont mal vues, par suite d'une forte myopie ou d'une hypermétropie notable. Chez d'autres, les méridiens de plus grande réfraction sont situés à 45° de la verticale et il suffit d'incliner la figure pour que leur astigmatisme apparaisse. Enfin, chez quelques-unes l'astigmatisme de l'un des yeux compense celui de l'autre, de telle sorte qu'en


Fig. 1.



faisant l'épreuve alternativement avec l'un et l'autre œil, ce seront tour à tour les verticales et les horizontales qui leur apparaîtront avec la plus grande netteté.

Une autre expérience consiste à fermer d'abord un œil pour regarder le tableau, et à changer d'œil ensuite. La plupart des observateurs remarqueront entre les deux groupes de lignes une différence bien plus grande dans la seconde épreuve ; cela tient à ce que, lorqu'on ferme un œil, par un effet d'habitude, on ferme le moins bon, et quand on ferme ensuite le meilleur des deux, on remarque plus facilement les effets de l'astigmatisme.

Cette simple expérience prouve qu'en général c'est l'astigmatisme qui détermine la qualité de nos yeux ; le plus astigmate de nos yeux est presque toujours, par là même, le moins bon.

Il faut savoir que des yeux parfaitement sains et bien constitués peuvent supporter une quantité de travail vraiment colossal ; une soirée passée au théâtre, après une journée entière consacrée à la lecture des textes les plus fins, ou aux travaux d'aiguille les plus délicats, tel est le régime que peuvent supporter indéfiniment des

yeux parfaitement construits, ou parfaitement corrigés par des verres.

Dans mon opinion, la plupart des personnes qui se plaignent de voir imparfaitement ou qui croient avoir des yeux sensibles, une grande partie de celles qui souffrent de conjonctivites fréquentes, celles qui, en un mot, ne trouvent pas de soulagement dans l'emploi des lunettes ordinaires et chez qui l'observation ophthalmoscopique ne révèle pourtant aucune maladie des membranes et des milieux de l'œil, ont de grandes chances de trouver un remède à leurs ennuis dans la correction de l'astigmatisme dont elles sont atteintes.

Or, si le nombre des personnes qui portent des verres cylindriques est infiniment petit, par rapport à ce qu'il devrait être, c'est en grande partie parce que les oculistes, rebutés par la difficulté théorique et pratique des moyens de mensuration généralement employés, n'entreprennent la recherche de l'astigmatisme qu'à leur corps défendant. On comprend donc l'intérêt qui s'attache à un procédé permettant de mesurer rapidement l'astigmatisme.

2. *Correction de l'astigmatisme.* — Je ne m'occuperai que de l'astigmatisme régulier, celui d'un œil dont la réfraction est assimilable à celle d'un ellipsoïde à trois axes inégaux; et je commencerai par démontrer que, *si l'astigmatisme régulier est celui produit par un ellipsoïde, on peut également le définir comme étant celui corrigé par un verre cylindrique.*

Considérons l'ellipsoïde

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

et le cylindre

$$x^2 + z^2 = r^2.$$

Le plan des xy coupe l'ellipsoïde suivant une ellipse dont le rayon de courbure, au sommet situé sur l'axe des x, est $\frac{b^2}{a}$, et le cylindre suivant une de ses génératrices. Les rayons incidents parallèles à l'axe des x contenus dans le plan des xy, et tombant sur le système formé par le cylindre et l'ellipsoïde, dans le voisinage de l'axe des x, iront former leur foyer en un point déterminé de cet axe; et si le cylindre corrige l'astigmatisme produit par l'ellipsoïde,

ce foyer devra appartenir aussi aux rayons incidents voisins de l'axe des x, et situés dans un azimut quelconque.

Je coupe ces deux surfaces par un plan passant par l'axe des x; ce plan coupe l'ellipsoïde suivant une ellipse dont les axes sont a et d, et le cylindre suivant une autre ellipse dont les axes sont r et l. Les rayons de courbure de ces deux ellipses, aux points où elles sont coupées par l'axe des x, sont $\frac{d^2}{a}$ et $\frac{l^2}{r}$, et l'ensemble des deux courbures doit être équivalent à la courbure $\frac{b^2}{a}$ appartenant à l'ellipsoïde dans le plan des xy. On sait que la distance focale f d'une lentille biconvexe, dont les rayons de courbure sont R et R' en valeur absolue et dont l'indice est n, est donnée par la formule

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right).$$

Dans le plan des xy, le rayon de courbure du cylindre est infini, et l'on a

$$\frac{1}{R} = \frac{a}{b^2}, \quad \frac{1}{R'} = 0;$$

dans le plan sécant on a

$$\frac{1}{R} = \frac{a}{d^2}, \quad \frac{1}{R'} = \frac{r}{l^2};$$

il faut donc que l'on ait

$$(1) \qquad \frac{a}{d^2} + \frac{r}{l^2} = \frac{a}{b^2}.$$

Voyons s'il est possible de déterminer r, de manière à satisfaire à cette équation (1).

Soit $z = my$ l'équation du plan sécant; on trouve aisément

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{1+m^2}\left(\frac{1}{b^2} + \frac{m^2}{c^2}\right),$$

$$\frac{1}{l^2} = \frac{m^2}{1+m^2}\frac{1}{r^2};$$

d'ailleurs, puisque le cylindre doit corriger l'astigmatisme de

l'ellipsoïde, on a en particulier le plan des zx,

$$\frac{a}{c^2}+\frac{1}{r}=\frac{a}{b^2} \quad \text{ou} \quad r=\frac{b^2c^2}{a(c^2-b^2)}.$$

En introduisant les valeurs de $\frac{1}{d^2}$, $\frac{1}{l^2}$ et r dans l'équation (1), il vient

$$\frac{a}{d^2}+\frac{r}{l^2}=\frac{a}{1+m^2}\,\frac{c^2+b^2m^2}{b^2c^2}+\frac{am^2}{1+m^2}\,\frac{c^2-b^2}{b^2c^2}$$
$$=\frac{a(c^2+b^2m^2+c^2m^2-b^2m^2)}{(1+m^2)b^2c^2}=\frac{a}{b^2};$$

l'équation est vérifiée.

D'ailleurs, les verres cylindriques ne constituent pas le seul moyen de corriger l'astigmatisme; une surface de tore, combinée avec une surface sphérique, permet également d'obtenir une correction satisfaisante. Quand l'astigmatisme est accompagné de myopie ou de presbytie, on voit souvent les personnes qui en sont affectées donner à leurs lunettes une position oblique, grâce à laquelle les verres sphériques peuvent eux-mêmes procurer une correction plus ou moins complète du défaut qui nous occupe.

Dans certains cas, l'astigmatisme peut se corriger en appliquant un doigt sur la tempe, près de la commissure externe des paupières, et tirant la peau de manière à exercer, par l'intermédiaire des paupières, une pression sur certaines parties du globe oculaire; j'ai vu des sujets, qui avaient découvert d'eux-mêmes cette petite manœuvre, obtenir ainsi une correction vraiment surprenante, au point de quadrupler leur acuïté visuelle.

D'autres, enfin, ont découvert un point de leur œil sur lequel il leur suffit d'exercer une pression, avec le bout de l'index, pour modifier très-notablement la courbure de leur cornée et obtenir une amélioration sensible de la vue.

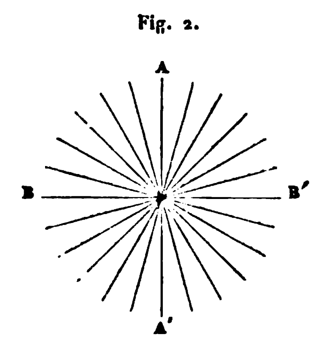
Sauf les verres à surface de tore, qui présentent l'avantage d'être périscopiques, ce qui pourrait en faire adopter l'emploi dans certains cas exceptionnels, le seul correctif convenable de l'astigmatisme reste toujours le verre cylindrique, et tous nos efforts doivent tendre à généraliser l'emploi de ce verre, qui devrait être adopté par plus d'un million de personnes en France.

Mesure de l'astigmatisme. — Ce n'est point ici le lieu de décrire tous les moyens qui ont été proposés pour cette mesure ; je me bornerai à décrire l'appareil que j'ai construit dans ce but.

Je rappellerai d'abord les termes dont je me servais en 1865 pour indiquer le principe de mon optomètre.

« 1° *Détermination monoculaire.* — Tracez un cercle, dans ce cercle des rayons espacés de 15 en 15°, et faites regarder cette figure au malade au travers d'une lentille sphérique convexe, que je supposerai de 3 pouces de foyer, pour fixer les idées. Éloignez peu à peu la figure jusqu'à ce que toutes les lignes pâlissent ou disparaissent, sauf une. Essayez alors successivement, en commençant par le plus faible, tous vos verres cylindriques concaves, en mettant les axes perpendiculairement au rayon resté noir, et cela jusqu'au verre qui rend tous ces rayons également noirs. Vous aurez ainsi, d'un seul coup, diagnostiqué l'astigmatisme et déterminé le numéro et la position du verre correcteur... ».

Fig. 2.



Pour toute personne jouissant de la vision binoculaire, on emploiera, avec beaucoup plus d'avantage, le procédé qui suit :

» 2° *Détermination binoculaire.* — Ajoutons maintenant, devant l'autre œil, une lentille et un cercle identiques aux précédents, les cercles étant d'abord aux foyers des lentilles et l'écartement des centres étant égal à celui des yeux. On ne peut fusionner les cercles qu'à la condition de tenir les axes optiques parallèles et la tête droite. La fixité de la position relative des axes optiques immobilise suffisamment l'accommodation..... »

Depuis douze ans je me sers journellement d'un appareil construit d'après les principes que je viens d'indiquer. Pendant cette

longue période d'années, j'ai noté les *desiderata* de cet appareil, et dans l'instrument actuel, l'opticien, M. Roulot, a réalisé les modifications de détail que l'expérience m'a suggérées.

Deux disques verticaux, mobiles autour d'un même axe horizontal, portent chacun une série de verres.

Le premier est garni de verres cylindriques sertis dans des bonnettes dentées sur leur pourtour, de telle sorte qu'une grande roue dentée permet d'imprimer simultanément à toutes les bonnettes un mouvement de rotation. Il en résulte que, lorsqu'on a déterminé l'orientation de l'astigmatisme, la rotation du disque amène devant l'œil la série de verres cylindriques sous l'orientation voulue.

Le second disque porte une série de verres sphériques ; aussi la rotation de ce disque permet-elle de corriger la myopie et l'hypermétropie.

En prenant pour objet des caractères d'impression fixés au mur le plus éloigné de la salle, ce système de disques permettrait déjà de mesurer la réfraction de l'œil avec une assez grande exactitude.

Mais il est préférable de se servir de la figure étoilée décrite plus haut, placée dans le stéréoscope joint à l'appareil. On obtient ainsi une précision plus grande de l'angle, car la vision binoculaire ne peut se produire que si les deux yeux sont exactement dans le même plan horizontal. De plus, point tout à fait capital, la fusion binoculaire des deux images, en déterminant la position des lignes visuelles, a pour effet d'empêcher les brusques variations de l'accommodation, ce qui dispense complétement de l'emploi si désagréable du sulfate d'atropine.

Sur la cause du mouvement dans le radiomètre; par MM. Bertin et Garbe.

On a longtemps discuté la question de savoir si les ailettes du radiomètre tournaient sous l'action propulsive directe de la source calorifique ou lumineuse, ou bien si le mouvement était dû à l'air renfermé dans l'appareil. On a vu, dans le *Journal de Physique,* que M. Schuster a, le premier, fait cette remarque importante, que,

si la cause du mouvement était intérieure, le vase supposé libre devait tourner en sens contraire du moulinet, ce qu'il a en effet constaté. Mais, des expériences de M. Crookes étant venues jeter l'incertitude sur ce résultat, nous avons, M. Bertin et moi, entrepris de nouvelles expériences à ce sujet.

On sait que, lorsqu'un système est soumis à l'action de forces intérieures seulement, la somme des moments des quantités de mouvement de différents points par rapport à un axe quelconque est constante. Dans le cas qui nous occupe, le système se réduit à deux corps, le moulinet et le vase; et, si l'on suppose ce dernier capable de tourner autour du même axe que le moulinet, l'équation du mouvement sera, en désignant par ω et ω' les vitesses angulaires simultanées du vase et des ailettes à un instant quelconque,

$$\omega \Sigma mr^2 + \omega' \Sigma mr'^2 = \mathrm{K} \quad \text{ou} \quad \mathrm{I}\omega + \mathrm{I}'\omega' = \mathrm{K},$$

I et I' étant les moments d'inertie du vase et du moulinet, par rapport à l'axe commun de rotation.

La constante K est déterminée en fonction de deux vitesses angulaires correspondantes ω_1 et ω'_1,

$$\mathrm{I}(\omega - \omega_1) + \mathrm{I}'(\omega' - \omega'_1) = 0.$$

On peut déduire de cette formule générale plusieurs conséquences. que l'expérience devra vérifier :

I. Si le vase supposé libre et le moulinet partent du repos, on a

$$\omega_1 = \omega'_1 = 0,$$
$$\mathrm{I}\omega + \mathrm{I}'\omega' = 0.$$

Dans ce cas, le vase et le moulinet doivent constamment tourner en sens inverse l'un de l'autre, et de telle sorte que le rapport des vitesses angulaires soit égal au rapport inverse des moments d'inertie.

II. Supposons qu'on abandonne le vase seulement lorsque les ailettes possèdent une vitesse ω'_1, l'équation devient

$$\mathrm{I}\omega + \mathrm{I}'(\omega' - \omega'_1) = 0.$$

Donc, dans la suite du mouvement, toutes les fois que le mou-

linet aura une vitesse supérieure à ω'_1, le vase tournera en sens contraire des ailettes; si cette vitesse diminue et devient ω'_1, le vase doit s'arrêter, et enfin il devra tourner dans le sens des ailettes, pour toute vitesse du moulinet inférieure à ω'_1.

III. Si, par un moyen quelconque, le vase et le moulinet sont rendus solidaires, par exemple en retournant l'appareil comme l'a fait M. Righi et comme nous l'avons fait également,

$$(I + I')\omega = 0,$$

c'est-à-dire que le système entier doit rester immobile, quelle que soit l'intensité de la source.

Nous avons vérifié par l'expérience ces conséquences de la formule; mais nous nous sommes attaché spécialement à la première, qui donne lieu à des vérifications précises.

Pour déterminer le rapport $\frac{I}{I'}$ des moments d'inertie, il suffisait de faire osciller à l'extrémité d'un même fil de métal le moulinet d'abord, et ensuite l'appareil tout entier. Soient t' et t les durées d'oscillation; on a la relation

$$\frac{I + I'}{I'} = \frac{t^2}{t'^2},$$

$$\frac{I}{I'} = \frac{t^2 - t'^2}{t'^2}.$$

En faisant varier convenablement le poids du moulinet, nous avons obtenu trois radiomètres pour lesquels le rapport $\frac{I}{I'}$ était égal à 17, 45, 77.

On graduait ensuite le vase en 24 ou 36 divisions équidistantes suivant un petit cercle situé au-dessus des ailettes, et il ne restait plus à faire que l'observation des vitesses.

Le radiomètre fut d'abord suspendu dans une balance de Coulomb, par un cheveu très-fin de 30cm de longueur environ. Une tige à crémaillère passant dans l'ouverture du plateau de la cage portait à sa partie inférieure un anneau, muni de trois pointes équidistantes, sur lesquelles le vase était soulevé lorsqu'on voulait arrêter son mouvement, pour lui faire reprendre sa position d'é-

quilibre. Avec cet appareil, nous avons toujours vu le vase partir en sens inverse du moulinet et faire plusieurs tours sans s'arrêter; nous avons vérifié la conséquence II de la formule et la conséquence III lorsque nous suspendions le radiomètre la tête en bas. Mais le rapport des vitesses s'est trouvé notablement plus grand que le rapport inverse des moments d'inertie.

Fig. 1.



Cette divergence tenait à deux causes : d'abord la torsion du cheveu, quelque faible qu'elle fût, et la résistance de l'air de la cage pouvaient gêner la rotation du vase. En outre, la méthode

d'observation était défectueuse; nous attendions que le moulinet et le vase eussent pris un mouvement uniforme pour noter leurs vitesses respectives; mais pour cela le vase avait dû tourner d'un angle considérable, et la torsion du cheveu se faisait sentir et ralentissait sa vitesse.

Nous avons fait construire alors un appareil dans lequel on pouvait faire le vide (*fig.* 1), et dont le fil de suspension avait 60ᶜ de longueur. C'était un fil de cocon de deux ou trois brins auquel le radiomètre était fixé par une goutte de mastic, et qu'une tige à crémaillère, passant dans une boîte à cuir, permettait d'élever ou d'abaisser à volonté.

La source dont nous nous servions était une lampe Drummond, qu'on approchait ou qu'on éloignait pour augmenter ou diminuer la vitesse de rotation du moulinet. Le mouvement du vase était ordinairement observé à la lunette; dans quelques expériences cependant nous projetions l'image du radiomètre sur un écran, sur lequel était tracée une ligne de repère. C'est cette dernière disposition que nous avons employée à la Société de Physique pour montrer la rotation du vase. Dans l'un et l'autre cas, on pointait sur un compteur le passage des divisions du vase, soit au réticule, soit au repère.

Au lieu d'attendre que le moulinet et le vase eussent pris leur mouvement uniforme, nous avons préféré, pour le motif indiqué précédemment, observer le phénomène pendant la période de vitesse variable du commencement, en ayant soin toutefois de ne comparer les vitesses que dans le même intervalle de temps. Pour cela, les deux compteurs partaient ensemble du moment où l'on faisait tomber la lumière sur le radiomètre; les ailettes et le vase se mettaient en mouvement en sens contraire, et lorsque plusieurs divisions du vase avaient passé sous le fil de la lunette, nous commencions à pointer, l'un le passage des divisions, l'autre le passage d'une ailette du moulinet observé directement. Un calcul simple permettait de déduire de ces pointages le rapport des vitesses moyennes, pendant l'intervalle de temps considéré.

C'est ainsi que nous avons obtenu pour rapport des vitesses les nombres 17,4, 47, 82, qui s'éloignent peu des rapports inverses des moments d'inertie.

SÉANCE DU 16 MARS 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Garbe, préparateur agrégé à l'École Normale; de Laforest, lieutenant-colonel du 33e de ligne; Perroux, préparateur de physique au lycée Fontanes; de Waha, professeur à Luxembourg (Grand-Duché).

M. Gouy rend compte des expériences qu'il a faites sur les flammes produites par un mélange d'air et de gaz d'éclairage, tenant en suspension des sels métalliques pulvérisés. Les sels dissous dans l'eau étaient aspirés par un pulvérisateur fonctionnant avec de l'air comprimé à $\frac{1}{2}$ atmosphère. Dans ces flammes, la surface bleue du cône intérieur, qui donne le spectre du carbone, donne aussi des raies propres au sel que contient la flamme; ces raies ne sont pas visibles en dehors de cette partie, et elles coïncident avec les raies principales du métal dans l'étincelle électrique. Les métaux suivants : sodium, strontium, magnésium, lithium, manganèse, fer, cobalt, bismuth, cadmium, zinc, osmium, montrent nettement ce phénomène. Le platine donne un spectre spécial, formé de bandes régulières. On doit conclure de ces expériences qu'il existe à la base de la flamme une couche très-mince qui possède une température beaucoup plus élevée que la flamme proprement dite.

M. Cornu indique les principales difficultés pratiques qu'on rencontre dans la détermination précise des éléments principaux des systèmes optiques et montre comment on peut les lever de manière à rendre cette détermination courte et facile.

M. Cornu applique, devant la Société, cet appareil à l'observation et à la mesure des phénomènes de foyers que présentent certains réseaux, ainsi qu'à la détermination des éléments principaux d'un objectif double de photographie.

Recherches sur les spectres des métaux à la base des flammes;
par M. Gouy.

On sait qu'une flamme produite par un mélange de gaz d'éclairage et d'air, en proportions convenables pour brûler sans le secours de l'air extérieur, a pour base un cône intérieur, à la surface duquel commence la combustion. Cette surface est brillante, de couleur bleue ou verte, et donne le spectre du carbone. Les expériences que je vais rapporter montrent que cette même surface donne un spectre très-différent de celui de la flamme dont elle forme la base, quand le mélange combustible tient en suspension des poussières salines.

Les solutions salines sont pulvérisées par un jet d'air comprimé; l'air chargé de poussière se rend dans un régulateur où arrive aussi le gaz d'éclairage et d'où sort un mélange de composition constante. Ce mélange arrive dans un tube vertical, de 19 millimètres de diamètre, coiffé d'une toile de fil de fer au-dessus de laquelle il brûle en donnant une flamme conique, de 6 à 8 centimètres. La hauteur du cône intérieur varie de 3 ou 4 centimètres à zéro, et la flamme peut être rendue oxydante ou réductrice.

Au moyen d'une lentille on projette sur la fente du spectroscope l'image de la flamme. On voit alors deux spectres l'un au-dessus de l'autre : l'inférieur est produit par la lumière de la surface bleue, et toutes les raies qui le composent s'arrêtent exactement à la même hauteur; l'autre est produit par la flamme proprement dite, et les raies qui lui sont propres empiètent sur le spectre inférieur, en raison de la forme de cette flamme.

Quand l'appareil marche à vide, le spectre inférieur donne brillamment les raies du carbone. Si l'on pulvérise une solution de chlorure de lithium, voici ce qu'on observe : le spectre supérieur montre une raie rouge très-vive et une raie faible dans l'orangé. La première paraît également brillante sur toute sa hauteur; l'autre, au point même où elle pénètre dans le spectre inférieur, devient bien plus vive. En outre, le spectre inférieur montre nettement une raie bleue (γ du spectre électrique), qui se termine à la même hauteur que les raies du carbone et manque dans le spectre supérieur.

Détermination expérimentale des éléments principaux d'un système optique; par M. A. Cornu.

La détermination des éléments principaux d'un système optique ne présente théoriquement aucune difficulté : au point de vue pratique, il n'en est pas de même lorsqu'on veut opérer avec précision ; on se trouve la plupart du temps en présence de cas particuliers, dans lesquels les règles ordinaires ne s'appliquent plus ou du moins présentent dans leur application des circonstances inadmissibles.

Ayant rencontré un certain nombre de ces difficultés, à l'occasion de recherches diverses, je me suis attaché à les résoudre le plus simplement qu'il m'a été possible de le faire.

I. — *Détermination des éléments principaux d'un objectif composé quelconque.*

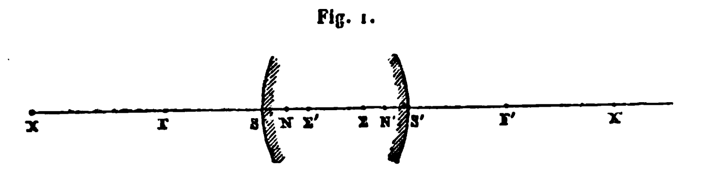
Il s'agit, comme on sait, de fixer, sur l'axe principal du système, la position de quatre points : les deux foyers principaux et les deux points nodaux (images du centre optique).

La règle que je vais indiquer s'applique aussi bien à une lentille simple qu'à un système de lentilles, qui est, comme on le sait, équivalent à une lentille unique. Il est bon d'employer une lumière homogène, à moins que le système ne soit bien achromatique ; l'emploi d'un verre coloré suffit souvent pour donner une grande précision aux pointés ; mais il est nécessaire, tout d'abord, de vérifier que le système est aplanétique, c'est-à-dire que tous les rayons qu'il doit réfracter concourent bien à la formation d'une image unique dans tous les cas où l'on devra l'utiliser ; s'il n'en était pas ainsi, en réduisant son ouverture par un diaphragme de grandeur et de position convenables, on arriverait à le rendre suffisamment aplanétique pour posséder les propriétés théoriques qui servent de définition aux éléments principaux.

Ces propriétés sont les suivantes : les *foyers principaux* F, F′ (*fig.* 1) sont les points de convergence des rayons parallèles à l'axe du système ; les points nodaux N, N′ sont les images virtuelles

centre optique, vues par un observateur placé d'un côté ou de l'autre du système : les distances NF et N'F' sont égales à la *distance focale principale f*, et les distances x, x' de deux foyers con-

Fig. 1.



jugués quelconques X, X' aux foyers principaux correspondants [1] sont liées entre elles par la relation

$$xx' = -f^2.$$

On met le signe — si l'on compte x et x' dans le même sens.

La règle ordinaire s'en déduit aisément : 1° on détermine la po-

---

(1) Il faut apporter quelque attention dans certains systèmes optiques pour bien établir la *correspondance* des trois points X, F, N et X', F', N', car, suivant les cas, les points nodaux NN' et les points FF' peuvent occuper les positions relatives les plus diverses.

On évitera toute erreur en commençant par supposer une source de lumière réelle X, située à l'infini, du côté gauche par exemple, et se déplaçant toujours dans le même sens (vers la droite), jusqu'à la première surface (celle de gauche du système) : on aura $x = -\infty$. On supposera l'observateur placé de l'autre côté du système, et marquant successivement les foyers conjugués qu'il rencontrera : d'abord le foyer principal F', c'est l'origine des x' ; le point lumineux se rapprochant, le foyer conjugué x' s'éloignera de F' et x' croîtra positivement ; quand le point lumineux sera arrêté au point F, tel que X' soit à l'infini, la distance x sera nulle, car F est l'origine de x. Le point lumineux X continuant sa marche, le foyer conjugué X' ne sera plus réel : l'observateur ne juge de la position de ce foyer que par la divergence des rayons émergents : on dit qu'alors le foyer conjugué est *virtuel*, il a passé à gauche du système ; il faut donc compter x négativement par rapport aussi à F' qui est son origine, tandis que x est positif, compté relativement à F. Le point lumineux s'avançant toujours arrivera à la première surface (celle de gauche) ; là, matériellement, il ne pourrait plus avancer ; mais, pour l'observateur placé de l'autre côté du système, tout se passera comme si la source lumineuse pénétrait réellement dans le système, si l'on prend pour source lumineuse le point de concours de rayons concentrés par un système optique quelconque : de cette manière le point lumineux peut atteindre jusqu'au centre optique, c'est-à-dire jusqu'à un point tel que tout rayon entrant par la première surface du système émerge parallèlement à sa direction à sa sortie de la dernière. L'image virtuelle du centre optique pour l'observateur, toujours situé du côté de la dernière surface, est le point nodal N'. Les trois points N', F', X' correspondants sont donc ainsi bien définis. On obtiendrait de même la correspondance des trois autres.

sition des foyers principaux F et F′, en tournant successivement les faces du système vers un objet situé à l'infini, et l'on observe de l'autre côté du système le foyer des rayons conjugués; 2° on place un objet à une distance x d'un des foyers principaux et on observe la distance x' du foyer conjugué à l'autre foyer principal; le produit xx' donne le carré f^2 de la distance focale principale cherchée.

1° *Détermination des foyers principaux.* — Là déjà on rencontre une petite difficulté pratique; on dispose rarement d'un objet situé assez loin pour qu'on puisse le considérer comme à l'infini; on peut le remplacer par un collimateur, mais il faut que ce collimateur ait lui-même été réglé: la difficulté n'est donc que déplacée. L'emploi d'un miroir plan, utilisé sous l'incidence normale, simplifie sous certains rapports ce réglage; mais on peut s'en passer à l'aide de la règle suivante, qui n'est pas neuve, mais qui n'est pas assez connue :

On vise un objet assez éloigné, situé à m fois la distance focale de l'objectif, $x = mf$; *la distance* x' *du foyer conjugué au foyer principal est la fraction* $\frac{1}{m}$ *de la longueur focale principale* f.

C'est une conséquence de la formule $xx' = -f^2$, qu'on peut écrire $\frac{x'}{f} = -\frac{f}{x}$; si donc $x = mf$, il vient $x' = -\frac{f}{m}$; comme on le voit, la distance de l'objet est comptée non pas à partir du centre de l'objectif, mais à partir du foyer principal F situé du côté opposé à l'observateur; mais, comme on doit prendre m assez grand pour pouvoir confondre $\frac{1}{m}$ avec $\frac{1}{m+1}$, il suffit de connaître d'une manière approchée la distance de l'objet.

Ainsi, avec un objectif de $0^m,30$ de distance focale, un objet situé à 300^m donne un foyer conjugué, qui ne diffère que de la fraction $\frac{0,3}{300}$ ou $\frac{1}{1000}$ de la distance focale $0^m,300$, c'est-à-dire de $\frac{1}{3}$ de millimètre.

On peut donc se contenter d'observer avec exactitude la position du foyer de l'objet à 300^m : la correction à faire subir à cette observation est déterminée avec une exactitude parfaitement suffisante, quand bien même la distance de l'objet ne serait qu'imparfaitement déterminée. Une graduation sur le tirage des appareils optiques employés permet d'effectuer cette correction avec une ex-

trême facilité. Le sens de la correction n'est jamais douteux : si, par suite d'une complication quelconque, on hésitait sur ce sens, il suffirait d'observer successivement des objets de plus en plus éloignés : la position des foyers successifs de ces objets indiquera le sens de la correction qui détermine le foyer de l'infini.

Ainsi, avec cette règle, on peut se passer d'objets situés à de grandes distances, de collimateur ou de miroir plan, et inversement on peut régler les collimateurs et contrôler la planéité d'un miroir.

2° *Détermination des points nodaux.* — Il faut que x et x' soient déterminés avec une précision suffisante, car $f^2 = -xx'$; dès lors, si l'on commet une erreur δx sur x et $\delta x'$ sur x', on commet sur f une erreur δf, telle que

$$-(f+\delta f)^2 = (x+\delta x)(x'+\delta x')$$

ou approximativement

$$-2f\delta f = x\delta x' + x'\delta x;$$

divisant par f^2 et remarquant que

$$\frac{x}{f^2} = -x' \quad \text{et} \quad \frac{x}{f^2} = -x,$$

il vient

$$\frac{\delta f}{f} = \frac{1}{2}\left(\frac{\delta x'}{x'} + \frac{\delta x}{x}\right),$$

d'où l'on conclut que *l'erreur relative commise sur la distance focale est la moyenne des erreurs relatives commises sur les coordonnées x et x' des foyers conjugués.*

On reconnaît que ni x ni x' ne doivent être très-petits, car ces quantités entrent en dénominateur, et, comme δx et $\delta x'$ ne peuvent pas être nulles, l'erreur relative augmente rapidement avec la petitesse de x.

On pourrait croire que δx peut être égal à zéro ou au moins négligeable, puisque la position de l'objet peut être définie avec une grande exactitude; mais il n'en est rien, car x est la différence entre la position de l'objet et la position du foyer F; comme cette dernière est nécessairement erronée de δF, x est au moins égal à δF.

En tout cas, il est évident que, si x et x' sont de même ordre de grandeur, $\delta x'$ et δx sont aussi de même ordre; pour trouver les meilleures conditions à remplir, on peut supposer $\delta x' = \delta x = \delta F$, c'est-à-dire égale à l'erreur qu'on commet dans la détermination du foyer principal; on aura donc

$$\frac{f}{\delta f} = \frac{\delta F}{2}\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{x'}\right) \quad \text{avec} \quad xx' = f^2.$$

Les valeurs de x et x' qui rendent δf minimum sont évidemment $x = x'$, car on peut écrire

$$\frac{\delta f}{f} = -\delta F \frac{x + x'}{2xx'} = \frac{\delta F}{2}\frac{x + x'}{f^2};$$

il faut donc que les distances focales conjuguées soient voisines de l'égalité.

On est tenté alors de choisir pour la position de X et X′ les points situés au double de la distance focale principale, comme dans le focomètre de Silbermann; mais cette disposition a l'inconvénient pratique d'exiger souvent, pour l'appareil de mesure, un développement inadmissible, égal au quadruple de la distance focale.

J'ai pensé qu'il était beaucoup plus pratique et surtout plus exact de prendre pour x et x' deux valeurs, pour ainsi dire égales et de signe contraire à celles-là, à savoir deux points très-voisins des points nodaux: les deux systèmes de points que je recommande, en raison des simplifications qu'ils apportent, sont les sommets des surfaces extérieures du système optique donné et leurs images observées à travers la surface opposée.

A cet effet, on trace (avec un pinceau et de l'encre de Chine délayée dans un peu d'eau gommée) sur le milieu de l'une des surfaces un petit trait S, et l'on mesure, par un moyen qui sera indiqué plus loin, la distance ε' de son image Σ', vue à travers la surface S′, au sommet S′, sur laquelle on a tracé également un petit trait (*fig.* 1).

Comme on a mesuré préalablement les distances des foyers principaux F et F′ aux surfaces voisines S S′, à savoir $FS = d$, $F'S' = d'$, on voit que, si S sert de point lumineux, Σ' est son foyer conjugué; dès lors on a

$$d(d' + \varepsilon') = -f^2.$$

Mais, comme on peut de la même manière, en retournant le système, observer S′ à travers la surface S, c'est-à-dire son image Σ et mesurer la distance $S\Sigma = \varepsilon$, on aura une nouvelle équation

$$d'(d + \varepsilon) = -f^2,$$

laquelle fournit une vérification d'autant plus précieuse qu'elle est très-aisée à obtenir. On détermine ainsi de deux manières la distance focale principale f.

Connaissant la valeur de f, en la portant en sens convenable, à partir de F et de F′ sur l'axe principal, on détermine alors les points nodaux NN′.

L'équation de vérification peut se mettre sous la forme intéressante

$$d\varepsilon' = d'\varepsilon \quad \text{ou} \quad \frac{d}{d'} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon},$$

qui s'interprète aisément.

La détermination de ε et ε' se fait très-aisément : il suffit de placer le système proposé sur un petit chariot mobile le long d'une règle divisée; un microscope à long foyer, muni d'un réticule et d'un oculaire positif convenable, permet de définir avec précision le plan de visée en φ. On déplace le système optique de façon à amener successivement dans le plan de visée φ le trait de la surface S′ et l'image du trait S, c'est-à-dire sur le réticule l'image du trait de la surface S′, puis l'image conjuguée du trait S; la différence des lectures du chariot dans ces deux positions donne la longueur ε'.

On peut même, si la course du chariot est suffisante, déterminer aussi d' par une troisième lecture : il suffit de disposer dans l'axe même de l'appareil un objet suffisamment éloigné (ou un collimateur au besoin), et de déplacer le chariot jusqu'à ce que le plan principal du système optique vienne coïncider avec le plan focal φ du microscope, ce que l'observateur déterminera par la condition de voir l'image *redressée* de l'objet en coïncidence avec le plan du réticule.

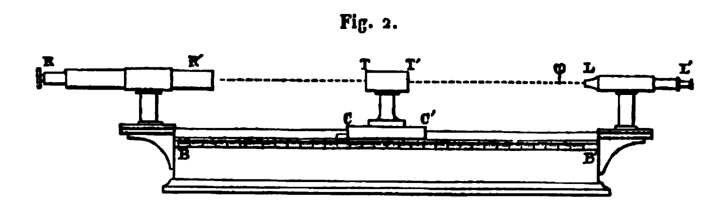
Les trois lectures consécutives du chariot donnent donc d et $d' + \varepsilon$; si l'on recommence les mêmes opérations en retournant le système optique, on obtiendra de même d et $d + \varepsilon$, par suite, les éléments de la détermination de f^2.

Je pense que la solution du problème proposé est arrivée à son maximum de simplicité pratique.

II. — *Description succincte d'une expérience.*

J'ai fait construire par M. Duboscq un appareil (*fig.* 2), qui rend ces déterminations extrêmement rapides et faciles : le microscope à long foyer LL′ est placé sur un support fixé à l'extrémité d'un banc BB′ en fonte rabotée, sur lequel glisse un chariot CC′ mobile le long d'une règle divisée ; un index muni d'un vernier au dixième permet d'estimer au demi-dixième de millimètre le déplacement du chariot. Le chariot porte un support sur lequel on peut centrer les systèmes optiques à étudier, soit en les adaptant dans le tube TT′, soit en les fixant avec de la cire molle sur des pièces additionnelles rentrant dans ce tube.

Fig. 2.



Un collimateur RR′, muni d'une fente ou d'un diaphragme portant un réticule, est placé à l'autre extrémité du banc ; il dispense, dans les expériences qui n'exigent qu'une précision médiocre, de viser un objet éloigné : il est d'ailleurs facile à enlever. Lorsque le système optique à étudier a été convenablement diaphragmé, centré et fixé sur le chariot, l'expérience complète, avec les vérifications, consiste en six observations analogues :

1° On dirige l'axe optique principal de l'appareil sur un objet situé à une distance connue approximativement et égale à plusieurs centaines de fois la distance focale du système étudié et à faire voyager le chariot jusqu'à ce que l'image de cet objet formée par le système optique vienne se faire au foyer φ, au plan de visée du microscope LL′, c'est-à-dire lorsque l'image nette et redressée de l'objet sera en coïncidence avec le plan du réticule. La précision de cette coïncidence dépend évidemment de la perfection de l'i-

mage visée et de la construction du microscope ; on l'augmente jusqu'à une certaine limite, en accroissant le pouvoir de l'oculaire du microscope et en plaçant un verre rouge en arrière de cet oculaire. Lorsque la coïncidence de l'image est aussi parfaite que possible, on lit la position de l'index sur la règle : soit z'_0 la lecture ou mieux la moyenne de plusieurs lectures faites en amenant le chariot par des mouvements de sens inverse.

2° On rapproche le chariot jusqu'à ce que le point tracé sur la surface la plus voisine soit perçu nettement dans le microscope ; on lit la nouvelle position de l'index : soit z'_1 cette lecture ou moyenne de lectures.

3° On rapproche encore davantage le chariot, jusqu'à voir distinctement dans le microscope le point tracé sur la surface opposée du système : soit z'_2 la nouvelle position de l'index, si l'objet visé est suffisamment éloigné, on a

$$d' = z'_1 - z'_0, \quad d' + \varepsilon' = z'_2 - z'_0,$$

sinon on effectue la correction de la lecture z'_0 dans le sens voulu (on a vu plus haut qu'il n'y a aucune hésitation possible), et les formules restent les mêmes.

4°, 5° et 6° On retourne le système optique bout pour bout, et l'on fait les trois lectures analogues z_0, z_1, z_2. On a alors

$$d = z_1 - z_0, \quad d + \varepsilon = z_2 - z_0,$$

d'où l'on conclut

$$f^2 = + (z_1 - z_0)(z'_2 - z'_0), \quad f^2 = + (z'_1 - z_0)(z_2 - z'_0).$$

Les deux valeurs de f^2 doivent être les mêmes, ce qui fournit la vérification indiquée plus haut.

On met ici le signe +, car le retournement bout pour bout du système change le sens des valeurs positives pour chaque foyer principal.

EXEMPLES NUMÉRIQUES.

1° *Objectif achromatique d'une petite lunette astronomique.* — On visait un objet situé à 340ᵐ environ. Les divisions d de l'échelle qui mesure le déplacement du chariot sont des centimètres.

Lectures de l'échelle.

Position directe ou normale de l'objectif.....	$z'_0 = 29^d,78$, visée sur l'objet éloigné, $z'_1 = 2,38$, visée sur la surface voisine, $z'_2 = 1,94$, visée sur la surface opposée.
Position inverse	$z_0 = 33,66$, $z_1 = 5,85$, $z_2 = 5,40$.

La distance focale approchée $z'_0 - z'_1$ est 27^d ou $0^m,27$: la correction du foyer de l'infini est donc $27^d \times \frac{0,27}{340} = 0^d,0214$ ou $0^d,02$. Quant au sens de la correction de z'_0, il est tel que la distance du foyer à la surface voisine est diminuée ; il faut donc diminuer z'_0 et z_0 de 0,02, ce qui revient à augmenter numériquement de 0,02 toutes les différences calculées :

$$z'_1 - z'_0 = -27,40, \qquad z_1 - z_0 = -27,40,$$
$$z_2 - z_0 = -28,76, \qquad z'_2 - z'_0 = -28,76.$$

Ajoutant 0,02 et effectuant les produits, il vient respectivement pour f^2 les nombres 775,34 et 775,44, dont les racines carrées f sont 27,845 et 27,847 : la concordance est donc très-satisfaisante.

L'intérêt de cette détermination exacte de la distance focale d'un objectif astronomique est de connaître *a priori* la valeur angulaire des divisions d'un micromètre quelconque, placé en un foyer conjugué quelconque de l'objectif. En Astronomie, on arrive à une détermination analogue par l'observation des étoiles circompolaires ; mais c'est un artifice qu'il n'est pas facile d'employer et qui, en tout cas, ne s'applique qu'au foyer principal.

Remarque. — Dans le cas des systèmes optiques peu épais, on peut simplifier le calcul numérique précédent ; car la moyenne arithmétique de deux nombres très-voisins ne diffère pas de leur moyenne géométrique que l'on doit calculer.

En effet, prenant la moyenne des différences $z_1 - z_0$ et $z'_2 - z'_0$ d'une part et $z'_1 - z'_0$ et $z_2 - z_0$ de l'autre, il vient respectivement $-27,825$ et $-27,83$; ajoutant la correction $-0,02$, on obtient 27,845 et 27,850, dont l'un est identique, l'autre presque identique aux valeurs trouvées par le calcul direct.

Il reste à calculer la position des points nodaux : ces points

sont situés à des distances des foyers principaux égales à $f = 27,85$; si l'on veut les rapporter aux surfaces de l'objectif, il suffit de retrancher f de la distance des foyers principaux aux surfaces voisines.

	Position directe de l'objectif.		Position inverse de l'objectif.
z'_0 corrigé............	29,76	z_0 corrigé...	33,64
z'_1....................	2,38	z_1..........	5,85
Distance du foyer principal à la surface voisine.	27,38		27,79
Distance focale princip.	27,85		27,85
Distance du point nodal correspondant.......	$0^d,47$		0,06

Les deux points nodaux sont tous deux à l'intérieur de l'objectif : l'un à $4^{mm},7$ de la surface la plus voisine du foyer, l'objectif étant dans sa position normale, l'autre à $0^{mm},6$ de la surface extérieure de l'objectif.

Cette inégalité n'a rien qui doive étonner, car la forme de l'objectif est celle d'une lentille plan convexe; si, au lieu d'être composé de deux verres de nature différente, collés ensemble, l'objectif était composé de deux verres de même nature, le centre optique de la lentille unique, ainsi formée, serait situé exactement sur le sommet de l'unique face courbe et celui des points nodaux, qui en est l'image vue à travers cette face, coïnciderait avec lui. La diversité des verres, flint et crown, n'a donc que peu altéré cette propriété de la lentille simple plan convexe.

Enfin la mesure directe de l'épaisseur de l'objectif ayant donné $0^d,67$, il en résulte que les deux points sont situés intérieurement à la lentille à une distance égale à $0,67 - 0,47 - 0,06 = 0,14$ ou $1^{mm},4$; ils occupent, relativement aux points focaux principaux et aux sommets des surfaces extérieures de l'objectif, la position indiquée plus haut sur la *fig.* 1.

Il est bon d'indiquer ici une vérification, qui, sans être nécessaire, est toujours bonne à essayer dans les cas où elle est particulièrement simple. La détermination des points focaux et nodaux, par rapport aux surfaces extérieures du système optique, n'exige pas la connaissance de la distance de ces surfaces,

parce que les images formées de part et d'autre de l'appareil optique forment deux groupes indépendants ; il n'en est pas de même lorsqu'on veut calculer la distance des deux points nodaux, par exemple, pour se rendre compte de leur position relative. Il existe une relation entre cette distance et l'épaisseur du système optique. Cette relation est plus ou moins complexe suivant la compositionde ce système ; dans le cas d'une lentille plan-convexe, homogène, la simplicité est très-grande : l'un des points nodaux qui coïncident avec le centre optique de la lentille est situé sur la surface convexe ; l'autre, image de ce point à travers la surface plane de la lentille, sous une incidence voisine de l'incidence normale, est situé dans l'intérieur du milieu réfringent à une distance de la surface égale à $\frac{e}{n}$, e étant l'épaisseur de la lentille et n son indice de réfraction. Présentement, l'épaisseur de l'objectif est de 0,67 ; son indice de réfraction *moyen* est environ 1,55 (car le flint et le crown, dont le pouvoir dispersif est très-différent, ont des indices assez voisins) ; l'un des points nodaux doit être à $\frac{0^d,67}{1,55}$ ou $0^d,43$ de la surface plane : l'expérience a donné 0,47.

Ce calcul, qui n'est qu'approximatif, donne donc, sinon une vérification théorique, du moins la preuve qu'il n'y a aucune erreur matérielle appréciable dans le calcul ni dans les mesures.

La vérification rigoureuse pour un objectif composé se ferait d'ailleurs sans difficulté, si l'on prenait la peine de déterminer séparément les éléments principaux des deux lentilles qui le composent, et de calculer la position des points principaux du système.

2° *Objectif photographique double à portraits de M. Darlot.*— Cet objectif, composé de quatre verres suivant la construction usuelle, a été diaphragmé intérieurement à 28^{mm} ; l'objet visé était situé environ à 60^m de l'appareil :

Position directe ou normale de l'objectif......	$z'_0 = 28^d,68$,	visée sur l'objet éloigné,
	$z'_1 = 17,13$,	visée sur la surface voisine,
	$z'_2 = 7,59$,	visée sur la surface opposée.
Position inverse.	$z_0 = 30,76$,	
	$z_1 = 18,50$,	
	$z_2 = 8,43$.	

Ici l'épaisseur du système optique ($7^d,65$) ne permet pas de prendre la distance du foyer des objets lointains à la surface comme distance focale principale : on calculera d'abord une valeur approchée de cette distance focale en négligeant la correction, d'ailleurs très-petite, et l'on reprendra le calcul avec la valeur calculée de la correction des foyers z_0, z'_0

$$z_1 - z'_0 = -11,55, \quad z'_1 - z_0 = -12,26,$$
$$z_2 - z'_0 = -22,33, \quad z'_2 - z'_0 = -21,09.$$

On ne pourrait pas non plus substituer la moyenne arithmétique à la moyenne géométrique des données, à cause de la grande différence des deux nombres, pour le calcul exact de la distance focale; mais, comme il ne s'agit que de la valeur approchée nécessaire pour calculer une correction très-petite, cette approximation suffit provisoirement et l'on peut prendre $16^d,9$ ou 16,8 pour distance focale principale : la correction $16,8 \frac{16,8}{6000} = 0^d,047 = 0,05$ à retrancher de z_0 et z'_0 ou à ajouter numériquement aux différences. On en déduit

$$f^2 = 11,50 \times 22,28 = 256,22 \quad \text{et} \quad f^2 = 12,21 \times 21,04 = 256,90,$$

et par suite les deux valeurs

$$f = 16,007 \quad \text{et} \quad f = 16,028.$$

A l'aide de ces valeurs on peut calculer de nouveau la correction $\frac{(16,0)^2}{600} = 0,043$, c'est-à-dire 0,04 au lieu de 0,05 qui avait été adopté. On n'a pas besoin de recommencer le calcul : il suffit d'ajouter 0,01 aux deux valeurs de f, ainsi que le prouverait le calcul direct :

$$f = 16,017 \quad \text{et} \quad f = 16,038.$$

Mais, comme on arrive à la limite d'exactitude utile, cette nouvelle correction n'a pas grande importance.

L'intérêt de cette détermination exacte de la longueur focale de cet objectif est la connaissance *a priori* de la position des foyers

conjugués correspondant à une réduction ou à une amplification donnée des images à reproduire.

La distance des points nodaux s'obtiendra, comme précédemment, en retranchant f de la distance du point focal principal à la surface.

	Position directe.		Position inverse
	d		d
z'_0 corrigé	28,64	z_0 corrigé	30,72
z'_1	17,13	z_1	18,50
	11,51		12,22
Distance du foyer principal à la surface voisine f	16,03		16,03
Distance du point nodal à la surface voisine	−4,52		−3,81

Les deux points nodaux sont à l'intérieur du système optique : la somme de leurs distances aux surfaces $4^d,52 + 3^d,81 = 8^d,33$ étant plus grande de $0^d,68$ que la distance des surfaces $7^d,65$, il en résulte que les points nodaux sont *croisés*, c'est-à-dire que, contrairement à la disposition de la *fig.* 1, le point nodal et son foyer correspondant ne sont pas voisins, mais contiennent dans leur intervalle le point nodal correspondant à l'autre foyer.

3° *Objectif faible de microscope* (*numéro zéro de M. Véric*). — Il est composé de deux lentilles achromatiques de dimension et de composition différentes.

Objet visé situé à 340^m de l'objectif.

Position directe de l'objectif (fonctionnement normal).	$z'_0 = 10,73$,	visée sur l'objet éloigné,
	$z'_1 = 8,75$,	visée sur la surface voisine,
	$z'_2 = 7,14$,	visée sur la surface opposée.
Position inverse.	$z_0 = 8,37$,	
	$z_1 = 6,34$,	
	$z = 4,69$.	

La distance focale principale n'est que de 2 ou 3 centimètres : l'objet visé est ainsi à plus de mille fois la distance focale de l'objectif : la correction des points z_0, z'_0, égale à $0^d,002$ ou $0^d,003$, est donc négligeable à l'ordre d'approximation de ces mesures. On en

déduit

$$z'_1 - z'_0 = -1^{\mathrm{d}},98, \quad z_1 - z_0 = -2^{\mathrm{d}},03,$$
$$z_2 - z_0 = -3,68, \quad z'_2 - z'_0 = -3,59,$$

d'où les deux valeurs de f^2, 7,2864 et 7,2877 dont les racines carrées sont respectivement 2,699 et 2,700.

Les points nodaux présentent cette particularité d'être presque confondus, ainsi que le prouve leur détermination numérique :

	Position directe.		Position inverse.
	d		d
z'_0	10,73	z_0	8,37
z'_1	8,75	z_1	6,34
	1,98		2,03
Distance du foyer principal à la surface voisine f.....	2,70		2,70
	—0,72		—0,67

Les points nodaux sont, comme on le voit, dans l'intérieur du système ; la somme de leur distance à la surface voisine est $1^{\mathrm{d}},39$ et est inférieure de $0^{\mathrm{d}},05$ à l'épaisseur $1^{\mathrm{d}},44$ de l'objectif : ils sont donc situés à un demi-millimètre. En écartant les deux objectifs qui composent ce système on diminuerait encore cette distance : on parviendrait ainsi à la rendre nulle et même négative, comme dans l'objectif photographique cité plus haut.

SÉANCE DU 6 AVRIL 1877.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 7 heures et demie.

Cette séance a été consacrée à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année. Les expériences et les appareils dont la liste est donnée ci-après avaient été disposés d'avance ; les auteurs ont donné les explications qui leur étaient demandées.

Connexion des axes des ellipses de conductibilité thermique et des coefficients d'élasticité de flexion dans le gypse; par M. Jannettaz.

Application des couches d'or très-minces au perfectionnement des cathétomètres et des autres instruments de mesure; par M. Govi.

Mise au point d'un microscope; par M. Govi.

Sur la température de solidification, production à la même température des deux variétés dimorphiques du soufre; par M. Gernez.

Sur les phénomènes d'induction; par M. Mouton.

Divers radiomètres construits; par M. Alvergniat.

Modifications des propriétés physiques du carbone, sous l'influence de la chaleur; par M. Sidot.

Emploi des boussoles de déclinaison à la mesure de l'inclinaison de l'intensité absolue et de la déclinaison de l'aiguille aimantée; par M. Marié-Davy.

Projection des flammes manométriques, au moyen du phénakisticope; par M. Gariel.

Expériences sur la dépolarisation et la persistance des impressions sur la rétine; par M. Duboscq.

Sur les effets d'un jet d'air lancé dans l'eau; par M. F. de Romilly.

Suspension et ébullition de l'eau sur un tissu à larges mailles; par M. F. de Romilly.

Expérience analogue à celle des flammes chantantes; par M. Montenat.

Moteur Bisschop pour laboratoire de Physique; par M. Rouart.

Décharge électrique de la torpille; par M. Marey.

Électromètre; par M. Lippmann.

Sur l'astigmatisme; par M. Javal.

Expérience sur le radiomètre; par M. Bertin.

Appareil pour mesurer les éléments principaux des systèmes optiques; par M. Cornu.

Microscope polarisant et à projection; par M. Nodot.

Balance automatique pour peser les monnaies; par M. Deleuil.

Gazhydromètre; par M. Maumené.

Nouvelle lanterne à projection de M. Laurent.

Pile au bichromate de potasse; par MM. Mors et Camacho.

Nouvelle disposition de l'électro-aimant de Faraday; par M. Ducretet.

Alambic solaire; par M. Mouchot.

Étuves à températures constantes; par M. d'Arsonval.

SÉANCE DU 20 AVRIL 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Les procès-verbaux des séances des 16 mars et 2 avril sont lus et adoptés.

Sont élus membres de la Société : MM. Benoît, docteur ès sciences; Bertereau (Ed.), préfet de la Haute-Saône; Brisac, ingénieur.

M. Bourbouze présente des appareils servant à répéter commodément diverses expériences de Physique :

1° Une roue dentée de Savart simplifiée;

2° Un appareil pour le magnétisme de rotation : le même moteur tournant sert pour ces deux expériences, et il est réduit à sa plus grande simplicité;

3° Un disque de cuivre tournant, vertical, qui sert à répéter l'expérience précédente avec l'aiguille du galvanomètre vertical du même auteur, la bobine ayant été enlevée.

Les appareils présentés sont mis en expérience par M. Bourbouze.

M. Bertin présente le microscope polarisant de M. Nodot, construit par M. Ducretet.

Cet appareil sert aussi bien à observer directement les effets de la lumière polarisée dans les cristaux qu'à les projeter : un changement de disposition très-simple permet de passer d'un usage à l'autre. On peut aussi placer les cristaux soumis à l'expérience soit dans la lumière convergente, soit dans la lumière parallèle.

M. Bertin projette un grand nombre de phénomènes de polarisation chromatique, en se servant de la lumière Drummond.

L'étendue du champ est remarquable. On observe les lemniscates complètes des cristaux à deux axes, lors même que l'angle de ces axes est trop grand pour les appareils ordinaires.

Microscope polarisant; par M. Nodot.

Cet appareil permet d'observer directement les phénomènes de polarisation, ou bien de les projeter : un changement de disposition très-simple suffit pour passer d'un usage à l'autre.

1° *Observation directe.* — La *fig.* 1 représente mon nouveau microscope, tel qui doit être disposé pour l'observation directe. Une pile de glaces G de large surface, éclairée par un miroir mo-

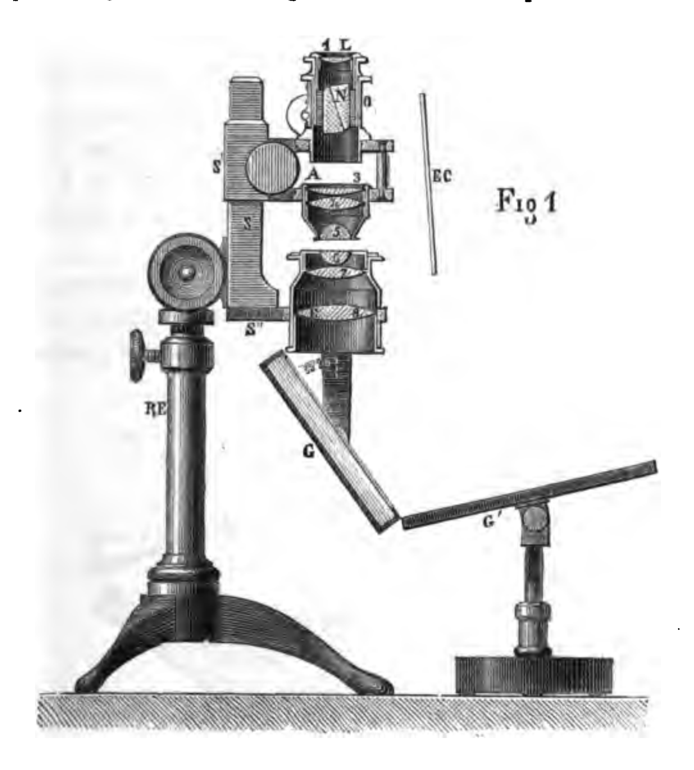


Fig 1

bile G', sert de *polariseur;* un Nicol N, de petite dimension, placé au-dessous de la lentille L 1, sert d'*analyseur*.

Le système éclairant comprend les trois lentilles convergentes inférieures : il concentre la lumière polarisée sur le cristal à observer, placé entre les deux lentilles demi-boules 6-5. Les rayons

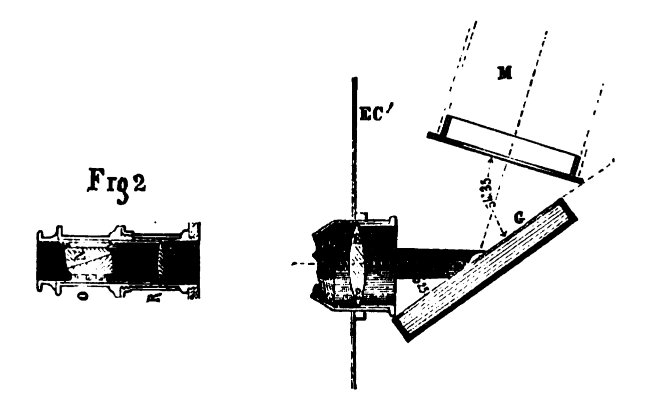
traversent ensuite les lentilles supérieures, qui forment l'objectif et l'oculaire du microscope. L'un et l'autre se déplacent à l'aide d'une crémaillère. L'écran EC arrête les rayons extérieurs. La monture de la lentille 6 est à plaque tournante, avec graduation pour l'orientation du cristal.

L'appareil étant placé devant une fenêtre bien éclairée, on produit le maximum d'éclairage du champ de la vision, puis on amène le Nicol à l'extinction, en le tournant de 90°.

Pour les expériences dans la lumière convergente, le cristal à observer est placé entre les deux lentilles demi-boules 5-6. Pour les expériences dans la lumière parallèle, on le place dans l'intervalle A.

Il nous paraîtrait superflu d'insister ici sur les phénomènes nombreux que l'on peut observer dans l'un ou l'autre cas : nous nous bornerons à renvoyer le lecteur au Mémoire inséré par M. Bertin dans le tome IV du *Journal de Physique* (p. 72 et 111). Il y trouvera décrites, avec détail, les expériences les plus intéressantes de polarisation.

2° *Projection*. — Quand on veut faire avec le même appareil des expériences de projection, l'instrument est placé horizontalement; la pile de glaces, tournée sur elle-même de 90°, est amenée,



suivant la *fig.* 2, devant la source lumineuse M (lumière de Drummond, électrique ou solaire). Les rayons doivent être un peu convergents sur la pile de glaces. L'écran EC est supprimé et remplacé par l'écran EC' (*fig.* 2); la lentille 1, supprimée et remplacée

par la lentille de projection P 2, placée en arrière du Nicol. On dévisse le tube oculaire O de sa monture S', on adapte le raccord à tirage R et on le rétablit sur la monture S'. Les autres parties de l'instrument restent suivant la *fig.* 1; mais on superpose une pince à cristaux à la plaque tournante de la lentille demi-boule G. L'écran de projection est placé à environ 2 mètres de l'instrument, le disque lumineux a un diamètre d'environ 90^c^. Le Nicol étant à l'extinction et la mise au point réalisée, l'appareil est prêt, et toutes les expériences, que l'on pouvait observer directement à l'œil, peuvent être brillamment projetées. La projection des lemniscates des cristaux à axes écartés, tels que topaze, gypse, etc., réussit très-bien.

Pour la projection des franges dans la lumière homogène, il suffit d'enlever le crayon de chaux de la lampe Drummond et de le remplacer par un bâton de verre ordinaire, placé dans une monture spéciale. L'hydrogène est dirigé sur ce bâton avec précaution, on amène ensuite (lentement) l'oxygène. L'écran est placé à une distance plus rapprochée, environ 1 mètre.

On peut toujours substituer un fort Nicol à la pile de glaces, mais son prix est assez élevé.

Pour avoir des projections d'un petit diamètre, mais très-fortement éclairées, on enlève la lentille de projection P 2, et l'on remet en avant (comme dans la *fig.* 1) la lentille L 1, sans diaphragme. Cette disposition est employée pour prendre la *photographie* des franges, qu'on projette alors dans l'intérieur d'une chambre noire, disposée comme à l'ordinaire.

Cet appareil est construit très-habilement par M. Ducretet.

SÉANCE DU 4 MAI 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 avril est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. le baron Paul Thenard,

Membre de l'Institut ; Bergeron, Ingénieur à Arras ; Caël, Inspecteur des télégraphes à Lille ; Pedro Garza, Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique) ; Sarcia Gril, capitaine d'artillerie de la Marine.

M. Jannettaz a reproduit, sur des disques circulaires ou elliptiques, les lignes nodales que Savart n'avait cherché à former que sur les disques circulaires dans les substances où l'élasticité varie suivant la direction.

M. Jablochkoff fait devant la Société des expériences de lumière électrique au moyen des courants induits développés dans une bobine de Ruhmkorff par le passage des courants alternatifs d'une machine magnéto-électrique de l'*Alliance*.

M. Joseph van Malderen se félicite de l'avantage qu'ont présenté à M. Jablochkoff les machines à courant alternatif. Il a toujours considéré comme son plus grand succès, dans la question de l'éclairage électrique, d'avoir pu réaliser un régulateur le dispensant de produire au préalable un renversement de courants, tout appareil de ce genre lui paraissant incompatible avec les énormes courants qui sont alors employés. M. Jablochkoff aurait rencontré les mêmes impossibilités si, se servant de courants continus, il avait dû laisser subsister l'interrupteur ordinaire des bobines d'induction.

Il présente un petit régulateur où les charbons sont amenés l'un vers l'autre par une composante de leur poids et qui peut fonctionner automatiquement d'une façon suffisante pour des expériences de cours. Il réalise ensuite quelques expériences comparatives d'aimantation par des courants alternatifs ou continus.

Relations entre la propagation de la chaleur et de l'élasticité, dans les matières à structure symétrique ;

par M. Ed. Jannettaz.

La relation que j'ai tirée de mes expériences ([1]), entre la direction de plus facile propagation de la chaleur et celle de plus facile

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXIX, p. 15. — *Bulletin de la Société géologique*, 3e série, t. I, p. 117 ; t. III, p. 500.

divisibilité dans les corps cristallisés, ou dans les roches naturellement ou artificiellement schisteuses, était connexe de la suivante : la direction suivant laquelle la chaleur se propage le mieux doit posséder une plus grande élasticité que celle de plus petite conductibilité thermique.

J'avais déjà observé la coïncidence parfaite des ellipses qui mesurent la conductibilité thermique et de celles qui mesurent la résistance à la flexion. Je rappelle qu'en faisant un trou dans une lame de gypse obtenue par clivage, et en appuyant légèrement à un certain moment sur la partie de cette lame, que le forage n'a pas encore atteinte, j'écarte celle-ci de la partie supérieure, et qu'entre les deux se développent des anneaux colorés, analogues aux anneaux dits de Newton; que ces anneaux ont la forme d'ellipses, et que ces ellipses ont leurs axes identiques, comme direction et comme grandeur relative, à ceux de la courbe que produit après son refroidissement de la graisse étalée sur cette lame, et chauffée en un point, d'après le procédé de de Senarmont. Plus tard (1), j'ai infléchi des bandes de gypse, taillées dans des directions différentes, et j'ai reconnu que l'élasticité parvient à son maximum dans la direction parallèle au grand axe des courbes précédentes.

J'étais amené à comparer le résultat précédent à celui que peut fournir l'observation des lignes nodales obtenues en faisant vibrer des disques de gypse. On doit à Savart les premières expériences de ce genre exécutées sur des corps cristallisés (2).

Il avait pris pour point de départ les expériences suivantes : si l'on ébranle un disque de cuivre à la surface duquel on a fait graver des stries parallèles, assez rapprochées les unes des autres, en fixant la plaque par le centre et attaquant avec un archet l'une des extrémités du diamètre du disque perpendiculaire à la direction des stries, on obtient pour lignes nodales deux branches d'hyperbole, dont l'axe réel se confond avec le diamètre ébranlé. Lorsqu'on ébranle le centre du disque, en maintenant fixes deux points de sa circonférence, on a pour ligne nodale une ellipse, dont le petit axe est parallèle aux stries et à l'axe imaginaire de l'hyperbole pré-

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXII, p. 839, 1876.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XL, p. 15, 1829.

cédent. Quels que soient les points maintenus fixes, la courbe est la même et le son ne change pas.

Savart a pensé qu'il en devait être de même dans les disques circulaires de substances cristallisées; mais il s'est particulièrement attaché à l'ébranlement par les bords. En ébranlant ainsi un disque de bois, il a observé que la ligne nodale est formée, comme dans le cas du disque de cuivre strié, de deux branches d'hyperbole, dont l'axe imaginaire est aussi parallèle aux fibres du bois, c'est-à-dire à la direction de plus grande élasticité, ou de plus grande résistance à la flexion.

Le cristal de roche a fourni des résultats plus complexes, mais d'où il semblerait résulter que l'axe de figure doit posséder une élasticité plus grande que les axes horizontaux qui lui sont perpendiculaires. La chaleur s'y propage aussi plus facilement.

Sur le gypse, Savart n'a opéré que par l'ébranlement des bords; mais, plus tard (1), Angström a fait vibrer des disques de cette matière, en les ébranlant par le centre. Les disques avaient leurs faces parallèles au plan de clivage facile du gypse, au plan de symétrie (g^1). Le petit axe de la courbe fermée, que le physicien suédois a vu se développer comme ligne nodale, est à environ 13° du clivage vitreux (plan h^1), à 53° du clivage fibreux (plan p).

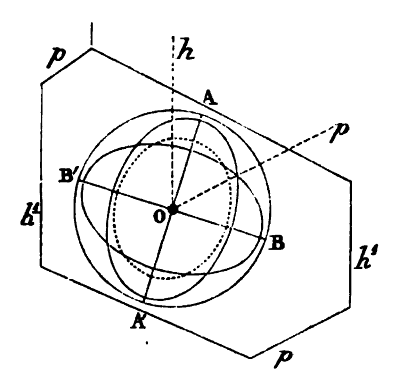
Ce petit axe indiquerait la direction de plus grande élasticité. Or dans les anneaux colorés produits par pression, le grand axe, parallèle à la direction de l'élasticité maximum, est à 17° du clivage vitreux, à 49° du clivage fibreux. Il s'agissait de chercher pourquoi ces données ne sont pas d'accord avec les expériences d'Angström.

J'ai remarqué d'abord que Angström avait en réalité observé diverses courbes fermées sur les disques de gypse qu'il faisait vibrer par le centre. Il croyait pouvoir expliquer ces courbes, en admettant que l'axe d'élasticité sonore varie de position, suivant que le son est plus ou moins élevé; qu'il y a une dissémination de ces axes correspondant aux sons de différentes hauteurs, analogue à la disposition des axes d'élasticité optique pour les différentes couleurs, dans les cristaux dont les formes dérivent de prismes obliques.

Convaincu que les axes d'élasticité sonores sont parallèles à

(1) *Poggendorff's Annalen*, t. LXXXVI, p. 217, 1852.

ceux de mes anneaux colorés elliptiques, et à ceux de la courbe des conductibilités thermiques, j'ai fixé les extrémités du diamètre parallèle au petit axe de la courbe des conductibilités, et j'ai vu se produire comme ligne nodale une ellipse dont les axes étaient entre eux dans un rapport voisin de 1,5 (moyenne de neuf mesures), le grand axe de la ligne nodale étant parallèle au petit axe des courbes thermiques. En fixant les extrémités du diamètre parallèle au grand axe des ellipses formées par les anneaux colorés, j'ai donné lieu à une autre ellipse nodale, dont les axes étaient parallèles à ceux de la précédente, mais inversement placés. Le son était ici plus grave. Le rapport des nombres de vibrations pour les deux cas est environ $\frac{5}{4}$ (¹).



J'ai ensuite ébranlé des disques circulaires de gypse par les

(¹) Dans la figure ci-jointe,

O*p* est la trace du clivage fibreux, base du prisme (face *p*);

O*h* la trace du clivage vitreux, face antérieure (face h^1);

OA la direction du grand axe des anneaux colorés elliptiques de la courbe isothermique et du grand axe de l'ellipse nodale obtenue en fixant les extrémités du diamètre AA'.

OB la direction du petit axe des anneaux colorés elliptiques et de la courbe isothermique et du grand axe de l'ellipse nodale obtenue en fixant les extrémités du diamètre BB'.

Les ellipses en trait plein figurent les lignes nodales qui se développent, quand on ébranle les bords du trou central O; leur grand axe est parallèle à la direction qui réunit les points maintenus fixes.

L'ellipse ponctuée représente la courbe isothermique, ou celle des anneaux colorés, qui ont leur grand axe à 17° du clivage vitreux O*h*.

La courbe circulaire représente le contour du disque soumis à l'observation.

bords ; j'ai alors obtenu comme lignes nodales des branches d'hyperboles, dont les asymptotes étaient dirigées, l'une presque parallèlement au diamètre OB, l'autre à 10° du diamètre OA (à 7° de la ligne O*h*), lorsqu'on faisait vibrer au moyen d'un archet un point intermédiaire entre A et B.

Mais la forme circulaire m'a paru ne pas convenir à des substances dont l'élasticité n'est pas la même pour les différentes directions ; j'ai pensé qu'il était préférable de découper des disques elliptiques et de faire varier la grandeur relative des axes de ces disques. J'ai vu ainsi que les asymptotes des hyperboles dessinées par les lignes nodales se rapprochent de plus en plus des directions OA et OB, à mesure que le rapport de l'axe dirigé suivant OB à celui qui a la direction OA se rapproche davantage de 1,45. A cette limite, les deux branches d'hyperbole deviennent deux droites rectangulaires ; au delà, on voit l'asymptote parallèle à OA rebrousser chemin et redevenir oblique par rapport à OB. Lorsque les disques elliptiques n'ont pas leurs axes parallèles aux directions OA et OB, l'une des asymptotes tend néanmoins vers la direction OA ; l'autre est parallèle au grand axe du disque.

Quartz. — J'ai fait vibrer un disque circulaire de cristal de roche percé en son centre ; en ébranlant un des points du bord du trou central. Le disque avait ses faces parallèles à une face du prisme et à l'axe vertical, ou axe de figure des cristaux ; OA étant cet axe et OB la trace du plan horizontal sur le disque, on peut y faire apparaître des lignes nodales elliptiques, dont le grand axe est parallèle à OB, ou à OA, suivant qu'on fixe les extrémités B, B' ou les extrémités A, A'. Les axes des ellipses me paraissent offrir le même rapport 1,35, dans les deux cas. Peut-être l'ellipticité est-elle un peu plus forte pour la courbe qui se manifeste, quand on fixe les extrémités B, B' du diamètre parallèle à la direction de plus petite propagation de la chaleur. Le son obtenu dans ce cas est plus élevé d'un demi-ton que lorsqu'on maintient fixes les extrémités A, A' du diamètre parallèle au grand axe de la courbe isothermique. En fixant les deux extrémités de la direction située à 45° des deux précédentes, on entend un son intermédiaire.

J'ai opéré ensuite sur un disque d'ardoise à faces parallèles au clivage facile : on sait que l'ardoise présente un second clivage, perpendiculaire au premier et qu'on appelle *longrain*.

En fixant les extrémités du diamètre parallèle au longrain, j'ai entendu le son *ré* dièse au-dessus du *la* normal; en fixant les extrémités d'un diamètre à 45° du précédent, le son entendu était intermédiaire entre le *ré* dièse et le *mi*; enfin, en fixant les extrémités d'un diamètre situé à 90° du longrain, le son était le *mi* au-dessus du *la* normal. Les lignes nodales correspondant à ces divers sons étaient des ellipses, dont le grand axe, parallèle au diamètre fixé par ses deux bouts, était au petit axe dans le rapport 1,065; je mentionnerai encore des expériences que j'ai commencées sur des cristaux de feldspath orthose (adulaire des États-Unis). J'ai fait tailler un disque d'orthose parallèlement à la base des cristaux. Lorsqu'on fixe les extrémités du diamètre parallèle à la diagonale inclinée de la base, ou, si l'on aime mieux, à l'intersection de cette base et du plan de clivage perpendiculaire (g^1 des cristallographes), on obtient une certaine note (le troisième *sol* dièse au-dessus du *la* normal dans mon expérience); en fixant les deux extrémités du diamètre à 45° du précédent, le son baisse (troisième *ré* dièse); en fixant les extrémités du diamètre perpendiculaire au précédent, à la trace du plan de clivage g^1 sur la base, on observe que le son est encore plus grave (troisième *do* dièse). Il semblerait donc que l'élasticité est plus faible ici parallèlement que perpendiculairement au plan de clivage. Or la chaleur se propage moins facilement aussi parallèlement que perpendiculairement à ce plan, ce qui est le contraire de ce que j'ai vu jusqu'ici dans les corps qui se clivent, excepté dans le calcaire, sur lequel je poursuis en ce moment des recherches du même genre.

J'ai enfin expérimenté sur un disque de cuivre, après y avoir fait graver des stries peu profondes, parallèles et distantes de 1^{mm}; en vain j'ai maintenu fixes, tantôt les extrémités du diamètre parallèle, tantôt celles du diamètre perpendiculaire aux stries, j'ai toujours obtenu, en l'ébranlant par le centre, et le même son et la même ellipse, invariablement allongée parallèlement aux stries.

J'ai fait graver sur un autre disque deux systèmes de stries beaucoup plus profondes, rectangulaires entre elles et distantes de 1^{mm} dans l'un des systèmes, de 2^{mm} dans l'autre. Ici, tout a changé. En fixant deux points sur la strie du premier système passant par le centre, j'ai entendu le deuxième *do* dièse au-dessus du *la* normal; c'est la direction de plus grande élasticité du disque.

En fixant deux points pris sur la strie diamétrale du second système, à la même distance du centre que les précédents, j'ai vu que le son s'était élevé : c'était le deuxième *mi* au-dessus du *la* normal.

Un disque marqué ainsi de deux systèmes différents de stries se rapproche bien plus du réseau cristallin que celui de Savart, où les stries sont légères et suivent une seule et même direction.

Conclusion. — Des expériences précédentes, je me crois autorisé à conclure que la droite qui réunit les deux points fixés du disque dont on ébranle le centre, quand il rend le son le plus aigu, est parallèle à l'axe de plus facile propagation de la chaleur. Cette ligne correspond dans le gypse, dans le cuivre strié, dans l'ardoise, au maximum d'élasticité. Dans le quartz, ce serait la projection des maxima d'élasticité de Savart sur l'axe le plus proche, c'est-à-dire sur l'axe de symétrie cristallographique.

Divisibilité de la lumière électrique ; par M. Jablochkoff.

Dès les premiers essais faits sur la bougie de mon invention qui est employée dans l'éclairage électrique, j'ai reconnu que, si l'on obtenait avec celle-ci une lumière plus continue qu'avec les charbons maintenus à distance convenable par le régulateur, et si en même temps on pouvait produire plusieurs foyers lumineux, ce double résultat était dû à l'action du courant sur la matière isolante interposée entre les deux charbons dont je me sers. L'arc valtaïque, en mettant en fusion cette substance, établissait pour le courant, entre les deux pointes de charbon, une sorte de passage beaucoup plus facile que quand l'isolateur était à l'état solide. L'expérience démontra qu'en donnant au courant de la machine une certaine tension, la distance que ce courant pouvait franchir sur cette sorte de conducteur liquide devenait assez considérable pour créer un nombre de foyers lumineux relativement très-élevé. C'est ainsi que j'obtins jusqu'à huit bougies brûlant à la fois sur le circuit d'une seule machine à courants alternatifs du type le plus ordinaire.

Dès lors j'ai été conduit à essayer l'effet des étincelles produites par un courant de grande tension sur les corps réfractaires.

En introduisant dans le circuit central de la machine le fil intérieur d'une série de bobines d'induction, et faisant passer l'étincelle provenant du courant induit sur une lame de kaolin placée simplement entre les deux extrémités du fil extérieur de chaque bobine, j'ai vu alors que, bien que le courant n'eût pas une intensité suffisante pour faire entrer en fusion le kaolin interposé, il chauffait celui-ci au point de le rendre incandescent.

On fait passer d'abord le courant sur une sorte d'amorce plus conductrice, disposée sur le bord de la lame de kaolin. La partie de la plaque qui est chauffée de la sorte donne une ligne qui devient un conducteur très-résistant et qui, au passage d'un courant de forte tension, rougit au blanc en émettant une belle lumière. Il se produit sur toute cette longueur une certaine consommation de kaolin, mais cette consommation est très-faible. La plaque de kaolin soumise à l'action du courant s'use sur toute sa partie éclairée à raison d'environ 1 millimètre par heure.

Le résultat que l'on obtient ainsi entre les deux extrémités du fil de la bobine est une magnifique bande lumineuse qui peut atteindre une longueur beaucoup plus grande que l'étincelle d'induction ordinairement produite par la bobine que l'on emploie. Mais cette bande lumineuse, au lieu d'être non éclairante comme l'étincelle d'induction, est un foyer permanent donnant une lumière aussi douce et plus fixe qu'aucune lumière connue, non-seulement électrique, mais d'usage courant. Quant à sa puissance, elle ne dépend que du nombre des spires et du diamètre des fils des bobines employées.

Comme on peut placer un très-grand nombre de bobines dans le circuit, et que sur chaque bobine on peut diviser en plusieurs sections éclairant séparément une bande de kaolin de longueur convenable, on arrive de la sorte à la divisibilité complète de la lumière électrique. J'ai pu obtenir très-aisément cinquante foyers lumineux d'une intensité variable.

Dans mes expériences, j'ai employé des bobines de diverses grandeurs. L'intensité du foyer correspondant à chacune d'elles varie naturellement avec la dimension de la bobine. J'ai échelonné les intensités des divers foyers, de manière à avoir une autre série gra-

duée de bandes lumineuses dont les plus faibles donnaient une lueur de un ou deux becs, et les plus fortes une lumière d'une quinzaine de becs de gaz.

En employant les courants alternatifs, on peut supprimer l'interrupteur et le condensateur des bobines ; alors le système total de distribution des courants se réduit à une artère centrale représentée par la série des fils intérieurs de la bobine, sur laquelle viennent s'embrancher autant de conducteurs distincts que l'on place de bobines sur le circuit. Chaque foyer lumineux est donc parfaitement indépendant et chacun d'eux peut s'éteindre ou s'allumer séparément. La distribution d'électricité dans un bâtiment à éclairer devient alors analogue à la distribution du gaz, et dans l'usine spéciale que nous construisons les grands espaces seront éclairés par les bougies, et les bureaux et corridors par les bandes lumineuses.

Les appareils d'éclairage des petits locaux sont d'une simplicité frappante. Ils se réduisent, en effet, à une simple pince retenant une lame de porcelaine qui, avec une longueur de 1 centimètre, peut brûler toute la nuit.

En résumé, les résultats que j'ai fait connaître aujourd'hui, et dont je ne crains pas de m'engager à fournir incessamment la démonstration pratique, sont les suivants : 1° divisibilité complète de la lumière électrique ; 2° fixité absolue de cette lumière divisée ; 3° possibilité de distribuer en toutes proportions et en tous points d'un lieu à éclairer les grandes, petites ou moyennes lumières ; 4° suppression des charbons pour les petites et moyennes lumières.

Lanterne de projection et mégascope ; par M. Léon Laurent.

(Séance du 6 avril.)

Cette lanterne est construite pour contenir le régulateur Serrin, mais elle peut recevoir aussi le régulateur Foucault, le chalumeau, etc.

Le régulateur Serrin est, comme on sait, un bon appareil,

fonctionnant avec une grande régularité; beaucoup de personnes le préfèrent aux autres régulateurs, mais jusqu'ici, cependant, il n'était pas encore employé dans les Cours pour les projections, et cela à cause de sa disposition qui ne lui permet pas d'entrer dans les lanternes de projections en usage. Il lui fallait nécesairement une lanterne spéciale avec une disposition particulière, permettant de monter ou baisser, à volonté, le point lumineux, tout en lui conservant un mouvement horizontal, perpendiculaire au faisceau lumineux.

J'ai cherché à réaliser le modèle représenté par la figure ci-contre. Le régulateur se pose sur la plaque E′ (*fig.* 1), mobile autour du centre *e′* : elle sert à faire mouvoir le point lumineux suivant l'axe du faisceau lumineux.

Cette plaque E′ repose sur la plaque E, mobile autour du centre *e*, laquelle sert à déplacer le point lumineux, horizontalement et perpendiculairement au faisceau lumineux.

Dans la pratique des projections, on sait qu'il est indispensable de pouvoir centrer le point lumineux : on y arrive très-commodément au moyen de deux mouvements, l'un vertical, l'autre horizontal et perpendiculaire au faisceau lumineux.

Le mouvement vertical s'obtient au moyen de la vis D. Quand on opère sur le devant de la lanterne, le mouvement horizontal se fait avec la plaque E, mobile autour de *e*. Quand on opère sur le côté, il se fait avec la plaque ou le socle E′, mobile autour de *e′*.

Cette combinaison des deux plaques E et E′ possédant deux mouvements horizontaux perpendiculaires entre eux présente, en outre, l'avantage pratique suivant.

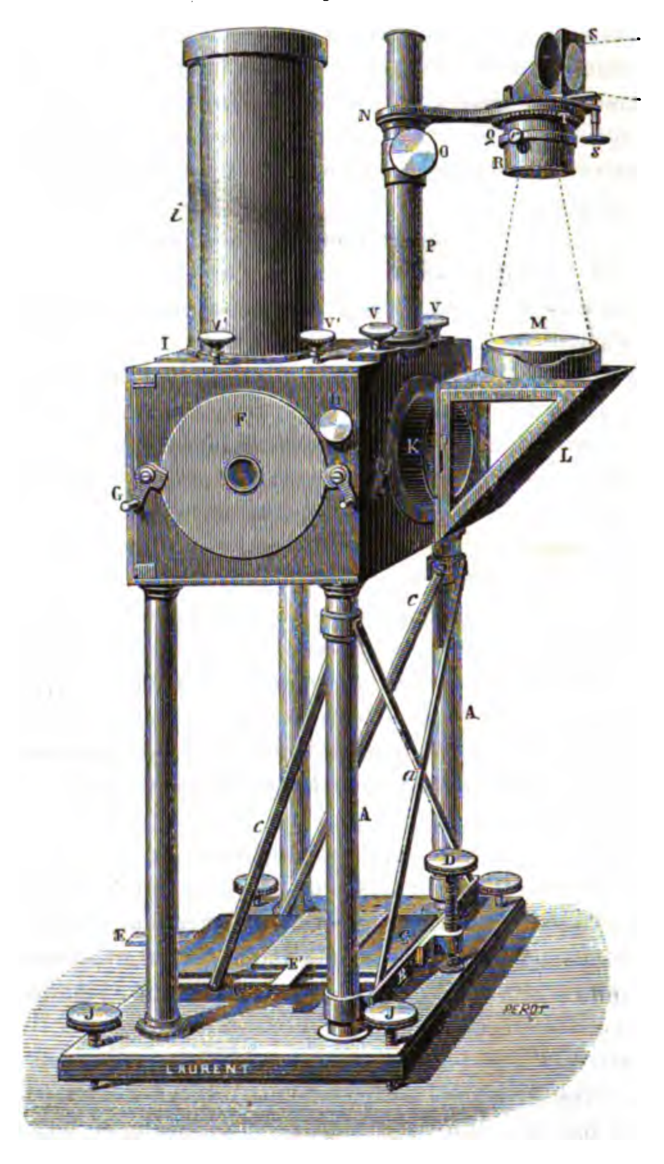
Si l'on opère sur le devant de la lanterne, le socle ou plaque mobile E′ permet d'approcher ou de reculer le point lumineux des lentilles éclairantes et de se placer ainsi, pendant l'expérience et sans déranger les appareils, au maximum d'éclat ou d'uniformité.

Quand on opère sur le côté, c'est la plaque E, mobile autour de *e*, qui sert à cet usage.

Le système des deux plaques E et E′ fait partie d'un chariot A, B, C, rigide et mobile verticalement ; il sert à monter ou baisser le point lumineux, afin de le centrer et de rendre le faisceau lumineux plus ou moins horizontal. Il glisse le long des deux colonnes de devant et porte une vis, qui s'appuie sur le socle de la

lanterne et qui sert à faire mouvoir le régulateur pendant qu'il est en expérience.

Fig. 1.



Les différentes bonnettes ou appareils qui se fixent sur le devant de la lanterne peuvent aussi se fixer sur le côté : cela se fait au moyen

de forts taquets : j'ai renoncé au système des grands pas de vis, si incommodes dans la pratique où, il faut opérer vite et sûrement.

L'ouverture et la fermeture de la lanterne et celle de la cheminée se font par un seul mouvement.

Cette lanterne peut servir pour tous les cas et, dans celui où l'on emploie le régulateur Foucault, le mouvement vertical dû à la vis D est très-utile pour monter ou descendre le point lumineux, sans toucher au régulateur ni déranger les appareils en expérience.

La lanterne présente une nouvelle disposition, tenant lieu d'appareil à projeter les photographies et d'appareil à projeter les corps liquides ou placés horizontalement.

L'appareil se compose de deux parties : la partie éclairante et la partie objective.

La partie éclairante se compose d'une boîte prismatique L, renfermant des lentilles, et une glace argentée ; inclinée à 45°, elle s'adapte à volonté sur le devant ou sur le côté de la lanterne.

La partie objective se compose d'un prisme argenté et d'un objectif achromatique, mobiles le long de la colonne P. Cette colonne se place sur le devant ou sur le côté de la lanterne : on peut l'y laisser, elle ne gêne pas.

La disposition du mégascope dispense de l'emploi, souvent gênant, des manches destinés à contenir les photographies ; on peut placer, en M, de grandes photographies et les faire glisser. Cet appareil a été très-utile pour projeter, au cours d'acoustique de M. Jamin, à la Sorbonne, des bandes de verre noircies au noir de fumée et sur lesquelles des diapasons avaient tracé différents mouvements vibratoires.

Il arrive souvent que l'on a à intercaler des projections de photographies parmi des expériences avec les différents appareils de Physique, afin de montrer la disposition de l'expérience ou la description des appareils ou des tableaux, etc. ; cette lanterne se prête, avec une grande facilité, à ces expériences : il suffit, en effet, de laisser le mégascope en place, sur le côté de la lanterne et de garder le devant pour les expériences ; on n'a alors qu'à boucher le devant par exemple et à ouvrir le côté, ou réciproquement.

Ce système de mégascope peut aussi s'appliquer au porte-lumière solaire, ainsi qu'aux lanternes en usage.

SÉANCE DU 18 MAI 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Cadiat, à Paris ; Clérat, Sous-Inspecteur des lignes télégraphiques ; Dumoulin-Froment, constructeur d'instruments de précision.

M. Rolland expose les recherches qu'il a faites sur la résistance des éléments thermo-électriques de Clamond, en appliquant la méthode de Thomson.

M. Tommasi présente un nouveau système de télégraphie électrique, applicable surtout aux correspondances qui exigent l'emploi des câbles sous-marins de très-grande longueur.

M. Antoine Bréguet annonce que M. Ciccardi a imaginé un double relais dans lequel les contacts sont produits par des aiguilles aimantées venant toucher des gouttes de mercure, et où le manipulateur peut envoyer des courants de sens contraires. Ce système a été essayé sur le câble transatlantique.

M. Mouton présente une lunette spectroscopique de M. Lutz destinée à l'observation des étoiles. Le nouveau spectroscope est de petites dimensions et très-portatif; on peut l'adapter à toutes les lunettes. Il se compose essentiellement d'une petite lunette contenant un ou plusieurs prismes à vision directe entre l'oculaire et l'objectif; près de l'objectif et en dehors est la fente. Enfin, au delà de la fente, est une lunette cylindrique qui produit sur la fente une image réelle linéaire de l'étoile. En résumé, le collimateur est supprimé et l'objectif du spectroscope projette simplement, dans l'oculaire, l'image de la fente. La perte de lumière est donc moindre que dans les spectroscopes ordinaires.

Sur la résistance intérieure des éléments thermo-électriques, par M. L. Rolland.

Lorsque l'on met en marche une pile thermo-électrique de dimensions un peu considérables, l'intensité du courant produit

n'atteint une valeur à peu près fixe qu'au bout d'un temps variable avec la masse de la pile, mais toujours assez long.

Je me suis proposé de chercher quel rôle joue dans cette variation générale le changement de résistance intérieure de la pile, changement qui est inévitable, puisque la conductibilité d'un métal est fonction de la température.

Je me suis servi, pour mesurer ces résistances, du procédé suivant ([1]). L'un des pôles de la pile arrive dans un godet de mercure en communication avec un rhéocorde de Poggendorff; de là, le courant se rend dans un galvanomètre de Weber, après avoir passé par un shunt qui permet de régler à volonté la sensibilité du galvanomètre. L'autre pôle arrive dans un autre godet en relation directe avec le galvanomètre.

Enfin deux autres godets, placés sur le passage du courant, permettent d'introduire telle dérivation que l'on veut à l'aide d'une boîte à résistance ([2]). Cela posé, le rhéocorde était mis à un chiffre b, on fermait le courant, on observait la déviation du galvanomètre; on introduisait une dérivation s, la déviation diminuait, et on la ramenait à être ce qu'elle était en diminuant la longueur du rhéocorde : soit b' la nouvelle longueur; on avait alors

$$s = \frac{b - b'}{b'},$$

équation qui exprime R en mêmes unités que s ([3]).

Mes premières recherches ont porté sur des piles Clamond. La pile étant soigneusement entourée d'écrans en cuivre pour éviter les moindres courants d'air, je mettais en marche un chronomètre à pointage, j'allumais le feu et je déterminais la résistance

---

([1]) L. Mouton, *Journal de Physique*, t. V, p. 144.

([2]) Les dérivations introduites à l'aide de cette boîte étaient exprimées en mètres de fil télégraphique français; on sait que le kilomètre de ce fil vaut environ 10 Siemens.

([3]) La véritable formule serait $R = s\frac{b - b'}{b' + G}$, G étant la résistance du galvanomètre; quand le courant est assez fort pour permettre d'introduire au shunt une dérivation convenable, G est négligeable. Dans le cas contraire, on l'élimine par deux déterminations simultanées en faisant varier s.

C'est ainsi que j'ai opéré pour un élément formé par des tiges de fer et cuivre d'environ $0^m,003$ d'épaisseur.

de minute en minute pour chacune des piles partielles d'abord, puis je les accouplais en tension et enfin en quantité. Je suivais ainsi les résistances pendant quarante minutes; la pile étant alors portée au rouge-cerise, je suivais les résistances pendant le refroidissement. Les courbes que j'obtenais avaient pour abscisses les temps et pour ordonnées les résistances. J'ai étudié dans des conditions identiques trois piles Clamond; les courbes ont été sensiblement analogues.

Ces expériences m'ont confirmé dans l'opinion que j'émettais plus haut. La courbe des résistances oscille continuellement; sa marche, d'abord assez irrégulière, ne devient à peu près normale qu'au bout d'une vingtaine de minutes; alors elle ne présente plus que de légères irrégularités, et se fixe bientôt à une hauteur qu'elle conserve pendant environ dix minutes.

Lorsque la pile se refroidit, la courbe oscille encore assez irrégulièrement en décroissant. J'ai observé que, pendant les trois ou quatre minutes qui suivaient l'extinction du feu, la résistance mesurée comme il a été indiqué semblait augmenter brusquement; mais il faut bien remarquer que la méthode suivie suppose essentiellement la constance de la force électromotrice pendant le couple d'expériences nécessaires à la détermination de chaque résistance. Or il se pourrait qu'au moment de l'extinction du feu, la force électromotrice variant très-vite, la méthode cessât d'être applicable.

Enfin j'ai étudié une pile thermo-électrique, fer et cuivre; une partie des soudures plongeait dans un bain de glace fondante, l'autre dans un bain échauffé par un serpentin en cuivre où passait de la vapeur. Les courbes construites en prenant pour abscisse la moyenne des températures indiquées par trois thermomètres et pour ordonnées les résistances présentent une marche analogue à celles précédemment étudiées.

Nouveau relais; par M. Tommasi.

Le principal mérite, on pourrait dire le mérite caractéristique de cet appareil, consiste surtout dans son extraordinaire sensibilité, qui

lui permet d'agir sous l'influence des plus faibles courants, malgré les résistances, même très-considérables, que ces courants doivent vaincre pour arriver jusqu'à lui.

Cette sensibilité est due principalement à la disposition de l'électro-aimant, entre les pôles duquel pivote un petit barreau aimanté qui, tout en restant parallèle aux faces des deux pôles dans l'état de repos, tourne instantanément à droite ou à gauche dès qu'un courant positif ou négatif traverse l'électro-aimant. Il résulte des expériences que le courant d'une pile de cinq éléments Minotto, *après avoir traversé une planche de bois sec de* 20^c^ *de longueur,* est suffisant pour que le barreau dévie de plus de 20°.

Ce *relais* est également applicable au système *Morse* et au système *Hughes*, sur les fils aériens comme sur les câbles sous-marins, et il peut agir aussi bien en *simple* qu'en *duplex*.

Le *relais Tommasi* a été présenté par l'inventeur à la Société française de Physique, le 18 mai 1877, lorsque cet appareil était encore à l'état de simple appareil de démonstration. Néanmoins on put y contater que le courant d'un seul élément *Minotto*, après avoir traversé une bobine dont la résistance était égale à 4200^{km} de fil de cuivre de 4^{mm} de diamètre, mettait en mouvement un *Morse* à double électro-aimant dont les molettes convergeaient l'une à côté de l'autre sur le même point de la même bande de papier, l'une imprimant des points ou des traits bleus lorsque le courant envoyé dans le *relais* était négatif, et l'autre imprimant des points ou des traits rouges lorsque le courant envoyé dans le *relais* était positif, la vitesse moyenne étant de 200 points ou traits par minute.

Les expériences faites avec ce même appareil, au Bureau central des lignes télégraphiques à Paris, sur les fils aériens ont démontré que, sur un parcours de presque 5000^{km} de fil de fer, dont 280^{km} de fil souterrain, le courant d'un seul élément Minotto était suffisant pour que le *relais Tommasi* mît en marche un récepteur *Morse*; mais, et c'est là encore une nouvelle preuve de la grande sensibilité du relais en question, on fut bientôt forcé de retirer à cet appareil une partie de sa sensibilité pour l'empêcher de transmettre au *Morse* les courants des autres fils suspendus aux mêmes poteaux que le fil servant à cette expérience, ce qui força naturellement à porter la puissance de la pile à dix éléments.

Ces résultats obtenus, M. Tommasi a fait construire un modèle

pratique de son relais qui a été expérimenté à Marseille sur le câble de l'État, entre cette ville et Alger.

Le résultat de ces expériences a été que, avec le *relais Tommasi*, un seul élément était suffisant à faire fonctionner un *Morse*, et qu'avec trois ou quatre éléments on pouvait faire fonctionner un *Hughes* avec la vitesse moyenne de vingt-deux mots par minute.

Il faut remarquer que le *Hughes* d'Alger, n'étant pas à renversement de courant, ne pouvait envoyer dans le câble que toujours le même courant et que, pour le décharger, M. Tommasi fut forcé d'arranger son relais de manière à obtenir que ce dernier envoyât automatiquement un courant négatif de Marseille à Alger après chaque courant positif qu'Alger envoyait à Marseille. Cette disposition, suffisante tout au plus comme *pis-aller*, était loin d'être satisfaisante au point de vue de la régularité et de la vitesse du fonctionnement des appareils comparativement à la vitesse et à la régularité qu'on aurait obtenue si le *Hughes* d'Alger eût été disposé pour envoyer régulièrement un courant négatif après chaque courant positif.

Il est à remarquer aussi que, pour faire fonctionner le *galvanomètre-miroir Thomson,* on emploie ordinairement entre Alger et Marseille huit éléments en *simple* et douze en *duplex*.

SÉANCE DU 1er JUIN 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Maumené, chimiste ; Bobileff, docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg ; Borgman, attaché au laboratoire de Physique de Saint-Pétersbourg ; Hesehus (N.), attaché au laboratoire de Physique de Saint-Pétersbourg ; Lermontoff, attaché au laboratoire de Physique de Saint-Pétersbourg ; Van der Vlit, privat-docent de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg.

M. Cazin expose les recherches qu'il a faites sur le spectre de l'étincelle électrique dans l'azote, à diverses pressions.

M. Cazin montre, par projection, quelques-uns des clichés qui établissent ces faits et d'autres qui s'y rattachent.

M. Mouton fait fonctionner un spectroscope stellaire, de M. Lutz, disposé de manière à faire voir le spectre d'une flamme éloignée.

Sur le spectre de l'étincelle électrique dans un gaz comprimé; par M. A. Cazin.

Je conclus de mes expériences que l'étincelle électrique dans un gaz contient des particules gazeuses incandescentes qui produisent un spectre de lignes, et des particules solides ou liquides qui produisent un spectre continu : les premières proviennent du milieu gazeux et des électrodes, et les secondes sont arrachées aux électrodes ou aux parois voisines de l'étincelle. C'est dans le trait du feu que sont rassemblées les particules solides ou liquides; l'auréole est formée surtout par les particules gazeuses. Cette auréole est à l'étincelle totale ce que la base bleuâtre de la flamme d'une bougie est à la flamme entière.

Quand la pression croît, les particules solides ou liquides deviennent plus abondantes, et leur spectre continu prédomine; il finit par empêcher que l'on distingue le spectre linéaire de la partie gazeuse. Quand on observe à la vue, comme l'ont fait MM. Wüllner, Frankland, Lockyer, Cailletet, il semble que les lignes spectrales s'épanouissent de plus en plus, et qu'elles se rejoignent finalement. Mais, s'il est vrai que les lignes gazeuses s'estompent notablement, il me paraît inexact de dire qu'elles se rejoignent, et que la continuité apparente du spectre de l'étincelle à haute pression résulte de l'épanouissement indéfini de ces lignes.

Mes premières expériences ont été communiquées en mai 1876 à la Société Philomathique; j'observais l'étincelle à la vue, à l'aide d'un spectroscope ordinaire. J'ai fait cette année une seconde série d'expériences photographiques qui ont été communiquées le 12 mai à la même Société (1) et le 21 mai à l'Académie des Sciences (2).

---

(1) *Bulletin de la Société Philomathique de Paris*, 7e série, t. I, n° 2.

(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 21 mai 1877.

Première série. — Le gaz azote est comprimé dans un tube de verre à l'aide d'une sorte de piézomètre à mercure. Un fil de platine est soudé à l'extrémité effilée de ce tube; un second fil semblable est maintenu dans l'intérieur du tube, parallèlement au premier, à l'aide d'un fil de fer qui plonge dans le mercure de l'appareil. Une grosse bobine de Ruhmkorff produit l'étincelle entre les deux fils de platine, et cette étincelle est projetée par une lentille sur la fente du spectroscope.

A la pression ordinaire, l'étincelle est pâle et sillonnée d'un grand nombre de petits traits de feu (étincelle composée). Au spectroscope, on distingue sur les fils les cannelures attribuées à l'azote, et dans leur intervalle les lignes brillantes caractéristiques de ce gaz. Quand la pression croît, les cannelures s'évanouissent graduellement, les lignes deviennent de plus en plus diffuses; le fond continu du spectre devient assez brillant pour que l'on cesse de distinguer plusieurs lignes du gaz. A partir de 2^{atm}, on ne voit plus que six lignes de l'azote, de l'orangé au bleu, et cinq bandes diffuses au delà. On remarque aussi que le nombre des traits de feu qui composent la partie brillante de l'étincelle a augmenté. A 10^{atm}, il ne reste que deux lignes de l'azote, $\lambda_1 = 567$ et $\lambda_2 = 500$; une ligne très-brillante est apparue dans le violet, $\lambda_3 = 424$. La raie du sodium est aussi très-vive, tandis qu'on ne la voyait pas à la pression ordinaire. Cela met en évidence le rôle de la paroi du tube. Vers 15^{atm}, l'étincelle devient éblouissante. Sur le spectre continu, on entrevoit les quatre lignes précédentes et quelques points brillants entre les deux premières, qui sont au bord du spectre, au voisinage des électrodes : ce sont les raies du platine. On a poussé l'expérience jusqu'à 40^{atm} sans cesser de distinguer ces particularités.

Quand on laissa le gaz revenir à la pression ordinaire, le spectre reprit son aspect primitif, mais la raie du sodium persista sur l'électrode négative. Quand on renversait le sens du courant, cette raie passait instantanément d'une électrode à l'autre, comme si un composé du sodium eût été électrolysé par la décharge.

Je signalerai encore l'observation suivante, qui est intéressante à un autre point de vue. En opérant sur l'air, on a vu les vapeurs de l'acide hypoazotique se former abondamment à partir de 30^{atm}, et le spectroscope a montré le spectre d'absorption de ces vapeurs,

avec un éclat remarquable, bien que l'épaisseur de la couche absorbante ne fût que de 2 ou 3mm.

Deuxième série —L'observation directe des spectres d'étincelle est très-fatigante pour la vue ; il est impossible d'en saisir tous les détails et de les reproduire sur un dessin exact. Les effets d'irradiation troublent la vision et empêchent d'apprécier l'état réel des spectres. La Photographie lève ces difficultés. J'ai obtenu des clichés assez délicats pour se prêter à des mesures précises, et ils m'ont fourni une démonstration frappante de la proposition que j'ai énoncée.

Mon appareil se compose d'un spectroscope ordinaire à un seul prisme de flint, où l'oculaire est remplacé par une petite chambre noire. J'ai eu recours au collodion tantôt humide, tantôt sec; la durée de pose variait de un quart d'heure à une heure, suivant l'éclat des étincelles. Le spectre est photographié de la raie F à la raie M, avec une intensité remarquable entre les raies G et L. J'ai reconnu les raies du spectre en photographiant sur la même plaque l'un à côté de l'autre le spectre solaire et le spectre de l'étincelle, et ayant recours aux planches d'Angström et à celles de MM. Mascart et Cornu pour l'ultra-violet.

L'un des clichés, obtenu à la pression ordinaire, dans l'azote, avec une étincelle condensée par neuf jarres électriques, et jaillissant entre deux petites boules de platine, contient soixante-seize lignes, dont voici les principales dans la région GH. L'intensité relative des raies varie de 1 à 6.

* $\lambda =$ 434,8	5 diffuse	$\lambda =$ 411,8	5 (double)
432,5	3	411,0	3
431,4	4	410,2	4
429,9	2	* 409,5	4
428,7	2	407,6	4
427,4	4 diffuse	406,9	4 (double)
* 423,8	6 diffuse	*x* 406,5	3
422,0	4	*x* 406,2	3
420,7	3	405,7	2
419,1	3	*x* 404,9	5
* 417,5	4 diffuse	* 404,2	5
x 416,2	4 (2 au milieu)	403,5	4
415,2	4	*x* 402,6	3
414,3	4	* 399,6	6
413,1	4	398	2

Les raies désignées par un astérisque ont déjà été signalées comme propres à l'azote, les unes par M. Huggins, les autres par M. Salet. Les autres n'ont pas encore été observées. Parmi celles-ci, celles qui sont désignées par la lettre *x* ne se sont pas produites dans l'air avec des boules d'étain. Toutes les autres sont communes aux deux spectres, et par conséquent appartiennent à l'azote ou à l'hydrogène, à cause d'une dessiccation incomplète. La plupart des raies *x* sont plus intenses aux extrémités qu'au milieu. Le spectre obtenu avec des boules d'étain a montré que les raies des électrodes présentent cette particularité. C'est en plaçant l'étincelle parallèlement à la fente du spectroscope qu'on rend cet effet plus apparent. On doit donc attribuer les raies *x* au platine. Cette particularité des raies des électrodes me paraît explicable par le *renversement*. Au voisinage des électrodes, si l'étincelle est parallèle à la fente, et dans l'auréole, si l'étincelle est perpendiculaire, la vapeur métallique produit les raies d'émission. Au contraire, au milieu de l'étincelle, le trait de feu formé par des particules solides ou liquides produirait, s'il était seul, un spectre continu; comme il est entouré de vapeur métallique, celle-ci donne lieu aux raies d'absorption.

Les expériences photographiques que je viens de décrire garantissent l'exactitude de cette méthode expérimentale, et, comparées à l'expérience suivante, elles confirment la proposition fondamentale qui est l'objet de ce travail.

L'étincelle étant perpendiculaire à la fente, on a sur la photographie des lignes courtes et des lignes longues, qui dépassent de chaque côté la bande spectrale moyenne.

A la pression de 1^{atm}, les lignes de l'azote s'étendent de part et d'autre de la région moyenne impressionnée par une faible lumière continue; elles ont sur toute leur longueur une admirable netteté, puisqu'on peut en mesurer plus de trente dans l'espace de 3^{mm}.

On répète une expérience semblable à 8^{atm}; la région moyenne du spectre est tout à fait continue, et l'on y distingue à peine les raies du gaz; mais celles-ci s'étendent de part et d'autre, comme dans le spectre précédent, et conservent leur finesse. C'est exactement l'effet que produirait un trait de feu formé par des poussières solides, et entouré d'une auréole de gaz lumineux.

Dans toutes ces expériences photographiques, le gaz était contenu dans un cylindre de cuivre de 10^c de diamètre, muni d'une glace, à travers laquelle les rayons de l'étincelle se rendaient au spectroscope. Ils étaient concentrés sur la fente par une lentille achromatique. L'étincelle éclatant loin des parois, leur influence est complétement évitée.

Le spectre ultra-violet de l'azote s'étend très-loin quand on dispose un prisme et des lentilles de quartz dans le spectroscope. Il atteint presque la longueur de celui du cadmium, que M. Mascart a mesuré exactement. Je m'occupe de la détermination de ce spectre, ce qui est relativement facile, maintenant que le travail de M. Mascart fournit les longueurs d'onde des principales raies du cadmium.

SÉANCE DU 15 JUIN 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société: MM. Ribail (Xavier), ingénieur de la traction au chemin de fer de l'Ouest; Ziloff, professeur de Physique à Moscou; West (Émile), ingénieur chimiste au chemin de fer de l'Ouest.

M. Niaudet présente une pile au bichromate de potasse de M. Camacho.

M. Émile Reynier présente un nouveau régulateur électrique.

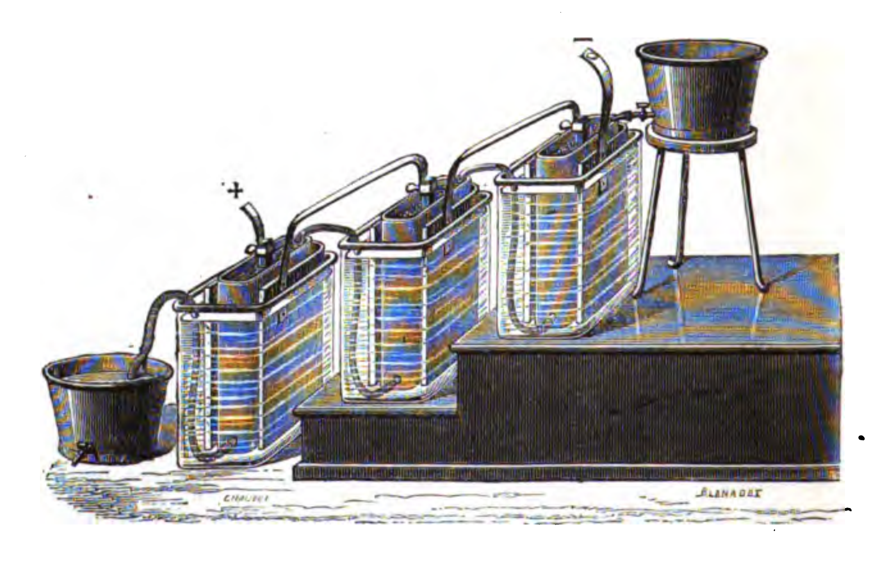
M. Marié-Davy informe la Société qu'après avoir réuni à l'Observatoire de Montsouris les instruments d'observation directe, il installe, cette année, les enregistreurs du magnétisme terrestre, de l'électricité atmosphérique, de la température, du degré hygrométrique, du degré actinométrique, de la température du sol au soleil et à l'ombre, de la direction, de la vitesse et de la pression du vent, de l'évaporation. Ces divers instruments seront soumis successivement à l'appréciation de la Société. M. Marié-Davy présente l'évaporomètre construit par M. Salleron.

Pile de M. Camacho; par M. A. Niaudet.

Cette pile est au nombre de celles dans lesquelles la dépolarisation est obtenue par un mélange d'acide sulfurique étendu et de bichromate de potasse; ces deux substances, en agissant l'une sur l'autre, produisent de l'oxygène, et, par conséquent, leur mélange peut absorber l'hydrogène qui, autrement, se dégagerait sur l'électrode négative.

Si cette production d'oxygène avait lieu à la température ordinaire, la pile serait parfaitement dépolarisée, comme la pile de Grove ou celle de Daniell; mais il n'en est rien, et il faut chauffer le liquide en question pour lui faire rendre de l'oxygène.

Il résulte de là que la pile (à la température ordinaire) n'est que partiellement dépolarisée par le procédé chimique indiqué.



M. Camacho, pour suppléer à l'imperfection inévitable de ce genre de pile, a donné un énorme développement à la surface de l'électrode négative. Il l'a composé d'une plaque de charbon et d'une quantité considérable de fragments de charbon, qui emplissent le vase poreux choisi exprès de grande dimension. L'avantage des fragments de charbon ainsi employés avait été indiqué par

M. Gaugain dans des études sur les piles qu'on trouvera dans les *Annales télégraphiques*. M. Camacho en a fait une très-bonne application.

Pour diminuer encore la polarisation de la pile, M. Camacho a imaginé d'agiter le liquide en le faisant circuler. On sait, en effet, qu'on dépolarise notablement un élément en agitant le liquide autour de l'électrode négative. Pour atteindre ce résultat, M. Camacho place ses éléments sur des gradins (la figure n'en indique que trois, mais on peut les mettre par séries de cinq); le liquide, versé à la partie supérieure du premier vase poreux en haut, en sort par un siphon attaché à la partie inférieure du même vase et coule goutte à goutte à la partie supérieure du second, et ainsi de suite.

M. Camacho donne à ses éléments une dimension telle, que leur résistance est peu considérable.

On sait, d'autre part, que la force électromotrice des piles au bichromate de potasse est supérieure à celle des éléments de Grove ou de Bunsen.

D'où il résulte la possibilité, pour M. Camacho, de faire avec 30 éléments une lumière comparable à celle que fourniraient 50 Bunsen ordinaires.

Nouvelle lampe électrique à rhéophores circulaires obliques; par M. Émile Reynier.

Je me suis proposé de réaliser une lampe électrique fonctionnant vingt-quatre heures.

Pour obtenir ce résultat, avec une lampe à rhéophores rectilignes, il faudrait donner à l'appareil environ 5 mètres de hauteur.

Un semblable régulateur n'étant pas pratiquement réalisable, je me suis trouvé conduit à étudier l'emploi des rhéophores circulaires.

Cet emploi des disques en charbon avait été tenté plusieurs fois, sans succès, par divers inventeurs. L'insuccès provenait de dispositions mécaniques mal appropriées, et surtout de la position respective défectueuse des disques, qui masquaient la plus grande partie de la lumière obtenue.

Ayant disposé autrefois (dans des études sur les lampes électriques hydrostatiques) des rhéophores qui se rencontraient angulairement, j'avais remarqué que, dans ce cas, la plus grande partie de la lumière se trouve émise au sommet de l'angle. J'ai mis à profit cette observation dans la construction du nouvel appareil, et suis ainsi parvenu à supprimer, presque complétement, les occultations jusqu'alors réputées inhérentes à l'emploi des disques.

Enfin j'ai pourvu chaque rhéophore d'un mouvement d'horlogerie spécial. Ces deux moteurs, munis de tourillons, peuvent osciller individuellement avec leurs rhéophores respectifs. L'un d'eux est manœuvré par l'opérateur, pour la mise en place des charbons; l'autre, commandé par un solénoïde intercalé dans le circuit, oscille automatiquement pour mettre en contact, écarter ou rapprocher les charbons en temps opportun.

Un premier modèle est à lumière zénithale; il existe un autre type, émettant la lumière vers le nadir, qui ne diffère de celui-ci par rien d'essentiel.

Dans ces appareils, le rhéophore mobile obéit *instantanément* au commandement du solénoïde, dont l'effort magnétique variable est continuellement l'expression de l'énergie du courant. Je pense que cette propriété rendrait possible la *division* d'un courant électrique suffisamment intense dans plusieurs lampes de mon système.

Abordant théoriquement cette question de la divisibilité de la lumière électrique, j'ai démontré :

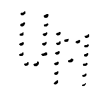
1° Qu'en faisant usage de lampes électriques basées sur le principe de Foucault, on ne peut pas mettre plusieurs arcs voltaïques en tension sur un même courant, mais qu'on en pourrait mettre plusieurs en dérivation, à la condition que les lampes soient à réglage instantané : cette conclusion ressort des lois de Ohm;

2° Que la somme des lumières obtenues sera voisine de la lumière unique que donnerait le courant total, dépensé sur un seul arc voltaïque, à la condition que les rhéophores soient de très-petite section. Cette deuxième conclusion s'appuie sur une formule de M. Ed. Becquerel, exprimant l'intensité lumineuse d'une surface, en fonction de sa température, et sur l'expression mathématique de l'émission de la chaleur.

Mes lampes électriques étant à réglage instantané, et permettant l'emploi de rhéophores très-minces, doivent donc se prêter avantageusement à la division de la lumière électrique.

LÉGENDE.

a, base de l'appareil. — *bb*, *b' b'*, supports fourchés. — *d*, *d'*, rhéophores circulaires en charbon, animés d'un mouvement de rotation continu par leurs moteurs d'horlogerie respectifs *f* et *f'*. — *g*, *g'*, tourillons sur lesquels peuvent osciller individuellement les ensembles des moteurs *f* et *f'*, et de leurs rhéophores respectifs *d* et *d'*. — *ih*, levier en fourchette relié au moteur *f* par une longue bielle cintrée. — *k*, bouton vissé dans la queue de ce levier, et butant sur un tas *l*. En vissant ou dévissant ce bouton, on fait osciller en avant ou en arrière le moteur *f*, pour la mise en place des charbons.



— *m*, solénoïde commandant un fer doux (invisible sur la figure). Par l'intermédiaire de la tige *p*, de la bielle *r* et du bras *s*, ce fer doux, aspiré de bas en haut, fait osciller en arrière le moteur *f'*, et détermine ainsi l'*écart* du rhéophore *d'*. — *t*, *t*, ressorts amenant *d'* au contact de *d*, pour provoquer l'*allumage*. Ces ressorts, attachés en *u* et en *v*, tirent sur le moteur *f'*, par l'intermédiaire de la bielle *r* et du bras *s*. — *xyx*, levier en fourchette à l'extrémité duquel sont attachés les ressorts. — *z*, bouton vissé dans la queue de ce levier, et butant sur un tas 1. En vissant ou dévissant ce bouton, on tend plus ou moins les ressorts, pour *régler* la lampe. — 2, 3, vis pour serrer les extrémités des fils conducteurs dans leurs trous respectifs.

Évaporomètres et autres appareils enregistreurs de l'Observatoire de Montsouris; par M. Marié-Davy.

Depuis longtemps les météorologistes s'efforcent de suppléer à l'insuffisance des observations directes par l'emploi d'appareils enregistrant automatiquement leurs indications. L'examen des instruments employés montre, malheureusement, qu'il est impossible de leur accorder assez de confiance pour qu'ils dispensent des observations directes.

A mon entrée à l'Observatoire de Montsouris, j'ai dû me préoccuper d'abord d'assurer le service complet des observations. Cette première tâche étant remplie, et un crédit spécial ayant été accordé à cet effet, je consacre l'année actuelle à l'installation des enregistreurs.

Outre le pavillon magnétique aérien, qui renferme le déclinomètre, le bifilaire, la boussole des variations, d'inclinaison et le magnétomètre absolu de Gauss, une cave a été aménagée pour recevoir les enregistreurs de la déclinaison, de la force horizontale et de la force verticale, d'où l'on déduit la force totale et son inclinaison. Un laboratoire de photographie est placé à côté.

Un second pavillon, que la Ville vient de faire élever au milieu de la partie réservée du parc, doit renfermer :

1° Un double enregistreur de l'électricité atmosphérique donnant des indications, non-seulement pendant les temps ordinaires, mais aussi pendant les orages ;

2° Un enregistreur du thermomètre sec et du thermomètre mouillé, donnant la température et la vapeur d'eau ;

3° Un enregistreur des deux thermomètres noir et blanc dans le vide, donnant le degré actinométrique;

4° Un enregistreur de la température de la surface du sol, au soleil et à l'ombre.

Le même pavillon renferme les électromètres d'observation directe de Thomson, de Branly et de Palmieri, ainsi que le photomètre d'Arago, le cyanomètre et l'actinomètre thermo-électriques.

Un troisième pavillon, placé au pied d'un mât de 20^{m} de hauteur, abrite le pluviomètre enregistreur, ainsi que les anémomètres enregistreurs, donnant la vitesse, la pression et les seize directions principales du vent.

Les baromètres enregistreurs, dont un baromètre-balance de grande dimension, sont placés dans l'intérieur de l'Observatoire.

Près de la serre-abri et des cases de végétation sont les évaporomètres, dont un est destiné à l'enregistrement. Il se compose d'une bascule de forme particulière, dont le grand plateau est placé au-dessus de l'appareil, au lieu d'être latéralement au-dessous du fléau. La bascule, le mouvement d'horlogerie, le cylindre d'enregistrement se trouvent ainsi groupés, sous un très-petit volume, dans une caisse vitrée, dont le couvercle est formé par la table portant le vase d'évaporation. Cette première bascule n'a qu'une force de 30^{kg}. Quand elle est chargée, un poids de 1^{gr} ajouté au grand plateau fait mouvoir l'extrémité de l'aiguille de 0^{mm},5. Cette sensibilité serait trop grande pour l'enregistrement; on la diminue à son gré en plaçant sur le petit plateau de la balance une éprouvette à moitié remplie de mercure, dans lequel plonge un tube de verre fixé aux parties immobiles de l'instrument. Dans les conditions adoptées, 25^{gr} ajoutés sur le grand plateau déplacent l'aiguille de 1^{mm}, dont on peut apprécier le $\frac{1}{10}$; et comme le grand plateau a une surface de 0^{mq},25, une tranche d'eau évaporée de 1^{mm} de hauteur correspond à 250^{gr} : la bascule permet donc d'apprécier le $\frac{1}{100}$ de millimètre, tout en ayant une course correspondant à une évaporation de 8^{mm} d'eau.

Les usages de cet appareil sont nombreux. En garnissant le plateau supérieur d'une couche de terre nue, on peut étudier la marche de l'évaporation du sol pendant le jour, tout en connaissant à chaque instant la proportion d'eau qu'il conserve; on peut aussi voir comment se comporte un sol sec, en présence de l'air plus ou

moins humide des nuits. La vapeur d'eau condensée ainsi par le sol est loin d'être négligeable; aucune expérience directe ne la fait connaître.

Si le sol, au lieu d'être nu, est planté, ce qui exige un second appareil enregistreur, on pourra suivre dans tous ses détails le phénomène physiologique de la transpiration des plantes, et le comparer à la courbe fournie par l'actinomètre enregistreur. On pourra voir ce que devient l'évaporation des feuilles pendant la nuit, et quelle est l'abondance des rosées qui se déposent à leur surface.

A côté de l'enregistreur se trouve, outre l'évaporomètre Piche, un vase de $0^{mc},25$ rempli d'eau, sur la surface de laquelle flotte une lentille de zinc creuse, dont la tige, en forme de crémaillère, commande le pignon d'une aiguille mobile sur un cercle gradué. La course de l'aiguille est de 3 ou 4^{mm} pour $\frac{1}{10}$ de millimètre d'eau évaporée; l'instrument donne donc le $\frac{1}{100}$ de millimètre : on en fait la lecture 5 fois par jour; mais, jusqu'à présent, l'observation se trouvait interrompue pendant les gelées. L'enregistreur pesant l'eau, au lieu de mesurer sa hauteur, cette interruption sera évitée. Il en est de même des neiges, dont on pourra suivre la chute et l'évaporation.

Des bascules enregistreurs, construites sur le modèle des bascules ordinaires de France, existent déjà dans le laboratoire de M. Grandeau, à Nancy, où elles sont appliquées à l'étude de la nutrition des animaux.

SÉANCE DU 6 JUILLET 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. le Dr Javal, directeur du laboratoire d'ophthalmologie ; Timiriazeff, professeur de Physiologie végétale à Moscou.

M. Angot expose ses recherches sur les dimensions des images photographiques. Il examine l'influence de l'intensité lumineuse de la source, de la durée de pose, de l'état antérieur de la plaque, enfin de l'ouverture de l'objectif qui sert à produire les images.

M. Mascart discute les résultats des expériences de M. Mendeleeff, relatives à la loi de Mariotte pour de faibles pressions. Ces résultats lui paraissent en contradiction avec les expériences de M. Regnault et le phénomène de la réfraction des gaz. Toutefois les recherches de cette nature sont très-délicates, et ce n'est que par l'examen détaillé des expériences qu'il est possible de juger si les méthodes employées permettent de constater avec certitude les écarts très-faibles signalés par M. Mendeleeff.

M. Maurat dit qu'il avait exécuté, dès l'année 1863, sur le même sujet, des expériences qui n'ont pas été publiées, mais dont les résultats ont été communiqués à un grand nombre de physiciens. D'après ces expériences, l'écart de la loi de Mariotte, pour de très-faibles pressions, est bien dans le sens indiqué par MM. Mendeleeff et Kirpitschoff, mais un peu plus grand qu'ils ne l'ont observé.

M. Mascart présente à la Société des courbes représentatives de l'état électrique de l'atmosphère, qu'il a obtenues à l'aide d'un électromètre de Thomson muni d'un appareil enregistreur de M. Rédier ; il fait connaître le mécanisme ingénieux de l'inscription et émet l'opinion que le même mécanisme pourra être utilement adapté aux appareils de mesure les plus délicats, tels que les magnétomètres et les galvanomètres.

Enfin M. Mascart rend compte, en quelques mots, de recherches exécutées par M. Ziloff, pour mesurer la constante magnétique du perchlorure de fer.

Recherches sur la photographie; par M. A. Angot.

On sait depuis longtemps que l'image photographique d'un objet lumineux est dilatée aux dépens des parties obscures ou du champ lui-même, et cela d'autant plus que l'objet est plus vivement éclairé. Pendant longtemps, on s'est borné à attribuer cet

effet à un *cheminement* de proche en proche de l'action chimique, sans plus l'étudier. Les applications que l'on tente actuellement de faire de la Photographie aux mesures de précision, notamment à celles que demande l'Astronomie, rendaient nécessaire l'étude approfondie de ce phénomène.

Le travail qui suit a été effectué dans les caves de l'École Normale supérieure. Grâce à la bienveillance de M. H. Sainte-Claire Deville, j'ai pu mettre à profit toutes les ressources de son laboratoire, et m'installer dans une cave de 90^m de longueur en ligne droite, à côté des appareils qui servaient à la même époque à M. André pour son étude de la diffraction dans les instruments d'Optique.

I. — *Marche des expériences.*

Les images photographiques ont été obtenues sans grossissement, au foyer d'une lunette que la Commission du passage de Vénus a bien voulu mettre à ma disposition, et qui m'avait servi à l'observation même du passage à Nouméa (Nouvelle-Calédonie). L'objectif, de $0^m,13$ d'ouverture, achromatisé par l'écartement des deux lentilles qui le composent, a $3^m,80$ de distance focale. Une longueur de $\frac{1}{500}$ de millimètre, mesurée sur les épreuves photographiques, correspond ainsi à un angle de $0'',109$.

Les épreuves ont été mesurées avec une des machines construites par MM. Brünner, pour la Commission du passage de Vénus, et qui permettent d'évaluer rapidement et avec certitude le $\frac{1}{500}$ de millimètre, quantité bien suffisante pour mes recherches.

L'objet photographié, disposé à environ 87^m de l'objectif, est une source lumineuse formée de deux rectangles égaux séparés par un intervalle obscur. Ces rectangles sont découpés dans une lame métallique que l'on applique sur une plaque de verre dépoli, éclairée par derrière avec une lampe Drummond ou la lumière électrique. On réalise ainsi un éclairement uniforme de l'objet photographié, condition absolument indispensable.

Avec cette disposition on peut obtenir facilement, non-seulement le fait de l'augmentation des images, mais la mesure de cette augmentation en valeur absolue. L'augmentation de dimensions de chaque rectangle lumineux est, en effet, forcément égale à la dimi-

nution de l'intervalle obscur compris entre eux : la somme de ces deux quantités est donc constante et égale à ce qu'elle serait si l'image se formait seulement d'après les lois de l'Optique géométrique. On connaît de plus, par la mesure directe de l'objet photographié, le rapport des intervalles obscur et lumineux. Possédant leur somme et leur rapport, on calcule facilement leurs valeurs pour l'image géométrique : la comparaison avec celles que fournit la mesure directe des épreuves donne, dans chaque cas, et en valeur absolue, l'augmentation des dimensions de l'image ; en outre, la constance de la somme des intervalles obscur et lumineux donne un excellent moyen d'apprécier le degré de précision des expériences.

Pour permettre de juger cette précision, je citerai seulement ici les résultats suivants des mesures de sept images obtenues successivement sur une même plaque daguerrienne, et pour lesquelles on n'a fait varier que la durée d'exposition à la lumière :

	Largeur (en $\frac{1}{100}$ de millimètre)		
Durée de pose.	du rectangle lumineux.	de l'intervalle obscur.	Somme.
10 secondes...	593,5	192,6	786,1
30 » ...	618,5	168,6	787,1
40 » ...	624,0	163,6	787,6
1 minute....	632,6	155,2	787,8
2 »	645,7	141,4	787,1
4 »	656,4	130,0	786,4
7 »	673,8	113,4	787,2

On voit que l'erreur moyenne sur la somme, qui devrait être constante, ne dépasse pas $0^{mm},001$ ($0'',05$). Dans ce qui suit, nous nous bornerons à indiquer l'excès de l'image sur l'image géométrique, calculée comme nous l'avons indiqué plus haut.

II. — *Résultats.*

Les expériences ont montré que la dimension des images varie : 1° avec l'intensité de la lumière ; 2° avec la durée de pose ; 3° avec la sensibilité de la plaque ; 4° avec le diamètre de l'objectif ; 5° avec l'état chimique de la plaque, les phénomènes étant différents si la

plaque a vu ou non le jour avant de recevoir l'impression photographique.

1° *Influence de l'intensité.* — Toutes choses restant égales, l'image augmente à mesure que l'on fait croître l'intensité de la lumière; l'image obtenue est généralement plus grande que l'image géométrique (en supposant un objet lumineux sur fond obscur); mais, pour une intensité assez faible, on peut obtenir une image *plus petite* que l'image géométrique. Le phénomène change de sens si l'on considère l'image d'un objet obscur sur champ lumineux.

Je citerai seulement, comme exemple, l'expérience suivante qui donne l'excès de l'image obtenue sur l'image géométrique calculée, pour des intensités variant de 1 à 38 :

Plaque daguerrienne (durée de pose, une minute).

Intensité de la source lumineuse.	Excès de l'image sur l'image géométrique en $\frac{1}{500}$ de millimètre.	Excès de l'image sur l'image géométrique en secondes d'arc.
1	116,1	12,66
$\frac{1}{4}$	81,0	8,84
$\frac{1}{9}$	41,5	4,52
$\frac{1}{9,5}$	39,2	4,27
$\frac{1}{38}$	— 22,4	— 2,44

Le signe — devant le dernier nombre indique que l'image obtenue est plus petite que l'image géométrique.

2° *Influence de la durée de pose.* — La durée de pose a une influence de même ordre que l'intensité : l'image obtenue croît avec elle. J'ai cité plus haut un exemple de cette influence. Le résultat général est qu'il n'y a pas de proportionnalité entre la durée de pose et l'intensité, les effets de la durée de pose étant beaucoup moins grands que ceux de cette dernière. Un temps de pose 1 avec une intensité 2 produit, par exemple, un effet plus grand qu'un temps de pose 2 avec une intensité 1.

3° *Influence de la sensibilité de la plaque.* — Pour une même durée de pose et une même intensité lumineuse, les phénomènes croissent avec la sensibilité de la plaque, sans qu'il soit cependant possible de donner une loi numérique, la sensibilité n'étant pas

définie rigoureusement. Mes expériences permettent au contraire de déterminer la sensibilité en la mesurant, par exemple, par l'inverse de l'intensité lumineuse qui donnera, avec une durée de pose d'une seconde, une image égale à l'image géométrique.

4° *Influence du diamètre de l'objectif.* — Pour vérifier la loi de l'ouverture de l'objectif, j'ai réduit celui-ci à moitié, mais en quadruplant alors l'intensité de la lumière, de façon que l'éclat de l'image fût constant, la durée de pose étant alors la même dans les deux cas.

Je ne rapporterai, pour ne pas allonger inutilement, que deux expériences :

Excès de l'image obtenue sur l'image géométrique en $\frac{1}{100}$ de millimètre.

Première expérience...	Ouverture 1......	27,0
	Ouverture $\frac{1}{2}$......	40,0
Deuxième expérience..	Ouverture 1......	50,2
	Ouverture $\frac{1}{2}$......	72,0

L'image augmente donc quand l'ouverture de l'objectif diminue.

5° *Influence de l'exposition antérieure à la lumière.* — J'ai exposé à la lumière diffuse une moitié de chaque plaque, et j'ai fait ensuite sur les deux moitiés une série d'épreuves avec la même durée de pose et la même intensité, de façon que toutes les conditions fussent identiques de part et d'autre, sauf l'exposition antérieure à la lumière. L'expérience a montré constamment que l'image obtenue sur la moitié intacte était plus grande que sur celle qui avait préalablement été impressionnée par la lumière diffuse. Je citerai seulement les nombres suivants :

1° *Plaque daguerrienne iodée et bromée.*

Durée de pose.	Largeur de l'image dans la partie exposée antérieurement à la lumière.	Largeur de l'image dans la partie non exposée.
30 secondes....	514,9	535,6
1 minute.....	537,3	560,4
4 minutes....	563,0	581,5

2° Plaque sur collodion sec.

	Durée de pose.	Largeur de l'image dans la partie exposée antérieurement à la lumière.	Largeur de l'image dans la partie non exposée.
Intensité 1	1 minute....	584,5	622,7
	2 minutes...	620,5	641,0
Intensité d'environ $\frac{1}{4}$	1 minute....	516,5	558,0
	2 minutes...	558,5	579,0

III. — *Explication des résultats obtenus.*

La première hypothèse que l'on ait invoquée pour expliquer ces faits était d'admettre un *cheminement* de proche en proche de l'action chimique; mais il est facile de voir que telle ne saurait être la cause de l'agrandissement observé généralement. Tout d'abord, cette hypothèse ne saurait rendre compte de ce fait, qu'avec une faible intensité ou une courte durée de pose on obtient des images plus petites que l'image géométrique. De plus, s'il y avait un cheminement, il devait être plus grand sur une plaque ayant déjà subi l'action de la lumière diffuse que sur une autre non altérée, et nous avons vu que l'expérience donnait un résultat précisément contraire. Enfin, en augmentant la durée de pose, on devrait accroître le cheminement, en lui donnant plus de temps pour se produire : une durée de pose 2 avec une intensité 1 donnerait une image plus grande qu'une durée de pose 1 avec une intensité 2, fait contredit par l'expérience. Il faut donc abandonner cette hypothèse.

La théorie des phénomènes lumineux donne, au contraire, une explication fort simple de tous les phénomènes observés, en admettant seulement, ce qui semble du reste évident, qu'une plaque de sensibilité donnée ne peut être impressionnée, pendant un même temps, que par des lumières possédant une intensité supérieure à une intensité donnée, qui définira justement la sensibilité de la plaque, si l'on peut mesurer en valeur absolue l'intensité limite qui donne une impression pendant l'unité de temps.

L'étude de la diffraction au foyer des lentilles, faite par Schwerd

(*Beugungserscheinungen*), simplifiée et étendue par M. André [*Étude de la diffraction dans les instruments d'optique* (*Annales de l'École Normale supérieure*, 1876, t. V, p. 275)], conduit aux résultats suivants : l'intensité lumineuse n'est pas constante en dedans même de l'image géométrique : elle décroît près des bords, et, au bord même, elle n'est que la moitié de ce qu'elle est au centre. En dehors de l'image géométrique on trouve encore de la lumière dont l'intensité décroît progressivement en tendant vers zéro.

Si l'on considère un objectif parfait, rigoureusement aplanétique, la largeur de cette zone de diffraction varie en raison inverse de l'ouverture de l'objectif.

L'aberration produit des phénomènes analogues qui se superposent aux précédents et augmentent considérablement l'étendue de la zone diffractée, sans cependant changer le sens général du phénomène. Quand on réduit l'objectif, on a toutefois à tenir compte de deux effets inverses : celui de la diffraction qui augmente et celui de l'aberration qui diminue en même temps que décroît l'ouverture de l'objectif.

Ces lois suffisent à expliquer tous les faits observés. Quand on augmente l'intensité de la source, l'intensité croît proportionnellement en chacun des points de la zone diffractée, et la plaque photographique, qui reste sensible pour une intensité absolue déterminée, donne des images de plus en plus grandes. Si, au contraire, l'intensité décroît assez pour que, dans le temps considéré, la plaque ne soit plus sensible à la moitié de l'intensité au centre de la plaque, on aura des images plus petites que l'image géométrique.

Au lieu de faire varier l'intensité, on peut faire intervenir la durée de pose : on aura alors des effets analogues à ceux que donnait la variation de l'intensité, mais moins rapides. En augmentant l'exposition, on rend en effet la plaque sensible à des lumières de plus en plus faibles, mais cette sensibilité tend rapidement vers une certaine limite, car l'expérience semble prouver que toute intensité qui tombe au-dessous d'une certaine valeur, variable avec la sensibilité de la plaque, ne peut plus produire d'impression même pendant un temps infiniment grand.

L'influence de l'ouverture de l'objectif est également mani-

feste : la zone diffractée augmente quand l'ouverture de l'objectif diminue, et exactement en raison inverse de celle-ci. L'expérience a montré cette augmentation, mais un peu moins rapide que ne le veut la théorie; en effet, en même temps que la diminution de l'ouverture produit une augmentation de la zone diffractée, elle diminue notablement l'effet de l'aberration.

Enfin, quand on soumet à la lumière diffuse la plaque sensible avant d'y imprimer l'image, celle-ci vient se faire sur un champ déjà éclairé, et cet éclairement général masque une partie de l'agrandissement diffractionnel.

En résumé, les faits observés sont en parfait accord avec la théorie. La dimension des images photographiques varie avec toutes les conditions de l'expérience; mais, pour expliquer ces variations, il suffit d'avoir recours aux théories ordinaires de l'Optique, et non à l'hypothèse d'un cheminement mystérieux des actions chimiques.

Cette variation du diamètre des images est inévitable dans la pratique. Pour la rendre très-faible, il faudra s'assurer que l'objectif employé est aplanétique, c'est-à-dire dépourvu, autant que possible, d'aberrations de sphéricité et de réfrangibilité.

On n'aura plus alors à tenir compte que des variations dues à la diffraction, que l'on atténuera en employant des objectifs de grande ouverture. Nous avons vu, en effet, que l'étendue de la zone diffractée variait en raison inverse du diamètre de l'objectif, supposé aplanétique.

C'est en employant un objectif sans aberration sensible, et de 15 pouces d'ouverture ($0^{m},38$), que M. Rutherfurd, par exemple, est parvenu à obtenir ces magnifiques photographies de la Lune que tout le monde connaît.

SÉANCE DU 20 JUILLET 1877.

PRÉSIDENCE DE M. CH. PLOIX.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Ducomet, ingénieur ;

Tuleu, ingénieur; Sire (G.), docteur ès sciences, essayeur de la garantie à Besançon.

M. Marey présente un appareil qu'il nomme *dromographe* ou *odographe* et qui inscrit, sous forme de courbe, la fréquence des mouvements périodiques.

M. Marey montre également un instrument qui est la réalisation définitive du loch à cadran, dont il a déjà présenté le projet à la Société. Cet instrument a été construit par M. V. Tatin.

Sur un nouvel appareil destiné à la mesure de la fréquence des mouvements périodiques; par M. Marey.

L'appareil que je nomme *dromographe* ou *odographe* inscrit, sous forme de courbe, la fréquence des mouvements périodiques.

Il permet de lire à tout instant le nombre absolu des actes accomplis et la fréquence avec laquelle ils se sont succédé, pendant un temps aussi long qu'on jugera nécessaire de suivre le phénomène.

Cet appareil consiste en un cylindre qui tourne d'un mouvement uniforme (1^{mm} à la minute), et d'un style qui peut cheminer parallèlement à la génératrice du cylindre; chacun des mouvements qu'il s'agit de compter le fait avancer d'une petite quantité.

S'il faut cent mouvements pour faire avancer le style de 1^{mm}, on connaîtra à tout instant le nombre de mouvements qui se sont produits, d'après le nombre de millimètres parcourus par le style et comptés sur l'axe des y. D'autre part, puisque le cylindre tourne uniformément, la fréquence plus ou moins grande des mouvements qui se sont produits se traduira par une inclinaison variable de la ligne tracée, et aura pour mesure la tangente de l'angle que cette ligne fait à chaque instant avec l'axe des x.

Cet appareil s'applique à tous les phénomènes périodiques qui se traduisent par des mouvements. Je l'ai employé à contrôler la vitesse de différentes machines, mouvements d'horlogerie, moteurs à gaz ou à eau, etc. Adapté à une voiture, dont il compte les tours

de roue, cet instrument constitue l'*odographe* parfait, exprimant les espaces parcourus en fonction du temps, indiquant les durées de marche et celles d'arrêt.

Dans le cas où les actes dont il s'agit d'inscrire le nombre ont trop peu de force motrice, j'emploie un relai électrique, au moyen duquel j'obtiens le travail nécessaire pour mettre l'appareil en marche; il suffit alors que le mouvement qu'on étudie ait assez de force pour rompre un courant électrique, ce qui est à peu près toujours possible.

SÉANCE DU 2 NOVEMBRE 1877.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 juillet est lu est adopté.

M. Niaudet présente à la Société le téléphone de M. Graham Bell.

Des téléphones; par M. A. NIAUDET.

On a cherché à réaliser, au moyen de l'électricité, des appareils qui transmettent la parole à une distance telle que leur portée s'étende à plusieurs kilomètres. D'abord on n'est parvenu à réaliser qu'une partie du problème : les sons ont été transmis, mais l'articulation ne pouvait être distinguée. On entendait un chant, mais on ne reconnaissait pas les paroles. M. Reis, de Friedrichsdorf (près de Hombourg) a le premier réalisé, en 1863, ce genre de téléphone. M. Graham Bell, dans ces dernières années, a résolu le problème dans toute son étendue : son appareil transmet le son

---

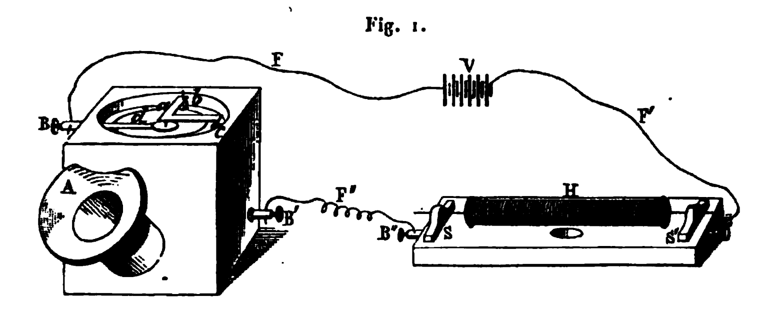
(1) Voir *Journal de Physique*, t. VI, p. 192.

de la voix avec toutes ses qualités; c'est un porte-voix qui transmet la parole non pas à quelques mètres, mais à des distances de plusieurs kilomètres.

Le téléphone de Reis se compose, comme tout appareil télégraphique, de deux parties : le *transmetteur* et le *récepteur*, et entre eux naturellement la ligne, deux fils ou un fil et la terre.

Le *transmetteur* est formé par une boîte sonore à deux ouvertures : l'une latérale A, pourvue d'une embouchure dans laquelle

Fig. 1.



on parle, ou que l'on présente à un instrument de musique; l'autre supérieure B, fermée par une membrane comme la peau d'un tambour. La membrane porte à son centre un petit disque de platine, relié par une bande métallique radiale *d* à l'un des fils F de transmission relié au pôle positif de la pile V ; un trépied métallique *abc*, très-délicatement construit, très-mobile, appuie par un de ses pieds *a*, terminé en une pointe de platine, sur le disque central, et un autre pied *b* repose dans un godet de métal qui établit la communication avec un second fil F'', qui est uni par l'intermédiaire du récepteur H au pôle négatif d'une pile voltaïque V. Quand la membrane vibre sous l'influence des sons qu'on lui fait entendre, le disque central se dérobe sous la pointe de platine qui fermait le circuit, puis se relève et recommence par une série d'alternatives qui produisent autant de fermetures et d'interruptions du courant.

Ainsi donc cet appareil transmet sur la ligne télégraphique une série de courants discontinus.

Le *récepteur* se compose d'une bobine ordinaire H au milieu de laquelle est placée une tige d'acier, semblable à une aiguille à tricoter, qui, placée horizontalement, repose par une de ses extrémités sur deux petits supports de bois S, S', montés eux-mêmes

sur une caisse sonore. Les bouts du fil de la bobine sont en relation, l'un avec le fil F″, l'autre avec le fil F′ qui aboutit au pôle négatif de la pile. Dans la bobine circulent donc des courants dont la discontinuité est due aux vibrations de la membrane. Or c'est un fait connu depuis longtemps qu'une tige d'acier placée dans ces conditions s'allonge légèrement quand la bobine est parcourue par un courant, et qu'elle se raccourcit à peu près autant quand le courant est rompu. Il résulte de là que cette tige rendra un son quand le courant sera très-rapidement et périodiquement établi et rompu. Le son produit sera plus bas ou plus aigu, suivant que les courants ainsi envoyés seront plus ou moins fréquents.

On comprend dès à présent comment le son rendu par la tige d'acier du récepteur est à l'unisson de son produit par la membrane du transmetteur et comment une série de sons rendus par l'une est aussi rendue par l'autre.

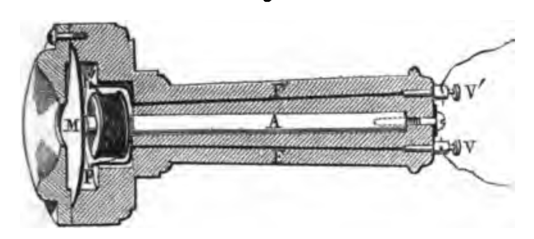
Il importe de remarquer que, si la hauteur du son est ainsi fidèlement transmise et reproduite, l'intensité du son ne le sera pas. En effet, la différence entre un son fort et un son faible au point de départ, c'est-à-dire à la membrane, est dans l'amplitude plus ou moins grande des vibrations de cette membrane ; mais ces vibrations sont très-sensiblement isochrones tant que le son ne change que d'intensité, par suite la durée des envois de courant ne change pas avec la force du son. A plus forte raison, cet appareil ne peut-il rendre le timbre des sons et, en résumé, des trois qualités du son : hauteur, intensité, timbre ; une seule est respectée par l'instrument imaginé par M. Reis.

Pour traiter complétement la question des téléphones, il faudrait décrire les appareils téléphoniques de M. Elisha Gray, de Chicago, qui sont des appareils fort compliqués, dérivés du système de M. Reis. En réalité, plusieurs téléphones Reis perfectionnés, réunis ensemble, constituent le téléphone de Gray. On trouve la description de cet appareil dans l'ouvrage de M. Prescott et dans divers journaux. On rapporte qu'il a été possible de faire entendre dans une ville un concert qui était exécuté dans une autre ville. Il en est de même du système de M. Paul Lacour, de Copenhague, qui paraît avoir rendu des sons plus beaux que ceux produits par l'appareil de Gray.

Passons à la description du téléphone de M. Graham Bell. L'ap-

pareil qui fonctionne actuellement est composé de deux parties, le transmetteur et le récepteur, qui sont absolument identiques. Décrivons le transmetteur : il se compose d'une membrane de fer M, c'est-à-dire d'une plaque circulaire de fer, qui vibre à l'unisson

Fig. 2.



de la voix. Cette membrane est placée devant l'embouchure E de l'instrument et, par conséquent, dans les meilleures conditions pour recevoir les sons et les reproduire. Derrière la membrane de fer et perpendiculairement à son plan, est une tige d'acier aimantée A, qui n'arrive pas à toucher la membrane, mais qui en est très-près. Sur cette tige d'acier est emmanchée une petite bobine B fort courte, sur laquelle est enroulé du fil assez fin. Le récepteur, qui est identique, et formé de pièces M', A', B', est réuni au transmetteur par deux fils métalliques F et F', qui font un circuit continu avec les fils des deux bobines.

Ces divers organes, soit du transmetteur, soit du récepteur, sont contenus dans une boîte d'acajou dont la forme extérieure accuse la forme des pièces intérieures. Quand l'appareil joue le rôle de transmetteur, on le présente devant sa bouche, à une petite distance ; la membrane vibre à l'unisson des sons multiples, simultanés et successifs, qui composent un mot et une phrase. Il convient de parler très-distinctement. Quand l'appareil est récepteur, on applique l'embouchure contre le pavillon de l'oreille, ce qui a le double avantage de l'amener au plus près du tympan et de créer une sorte d'écran contre les bruits extérieurs.

Considérons l'ensemble des deux appareils et examinons ce qui se passe, pour avoir l'explication de leur fonctionnement. La voix fait vibrer la membrane du transmetteur. Ces mouvements vibratoires sont plus étendus si le son *moteur* est plus fort, moins étendus si l'on parle bas. Ils sont plus rapides si c'est une note aiguë,

plus lents si c'est une note grave : voilà pour l'intensité et la hauteur du son. Venons maintenant au timbre. Les sons émis par la voix humaine, même les plus simples, *a*, *i*, sont composés de plusieurs sons coexistants; la membrane de fer vibre à la fois à l'unisson de ces divers sons simultanés, et reproduit chacun d'eux avec l'intensité qu'il a dans le son ordinaire. Toutes ces vibrations, avec leurs particularités compliquées, sont des approchements et éloignements successifs par rapport au barreau aimanté. Ces changements de distance produisent des changements dans la grandeur et la distribution de l'aimantation du barreau. Les approchements augmentent l'aimantation, les éloignements la diminuent. Mais ces changements d'aimantation font naître, dans le fil qui compose la bobine, des courants d'induction. La membrane s'approche de l'aimant, un courant d'induction de sens direct se produit. La membrane s'éloigne, le pôle s'éloigne de son côté: un courant d'induction de sens inverse se produit à son tour. Si les mouvements d'approchement et d'éloignement sont étendus, les deux courants d'induction dont je viens de parler ont une intensité relativement considérable; si les mouvements sont moins étendus, les courants sont moins intenses. Toutes les circonstances de l'approchement et de l'éloignement sont, par conséquent, des variations correspondantes du phénomène électrique.

Voilà pour le transmetteur; examinons maintenant le récepteur: des courants lui sont envoyés; ces courants circulent dans la bobine B′, exaltent l'aimantation du barreau A′ autour duquel ils passent, ou le diminuent, suivant leur sens; à chaque augmentation du magnétisme, la membrane réceptrice M′ est attirée avec une énergie nouvelle par le pôle de l'aimant et s'en approche; à chaque diminution du magnétisme, la membrane, toujours tendue par l'action permanente de l'aimant, se distend légèrement. Ainsi les mouvements vibratoires de la membrane M′ résultent des alternatives des courants d'induction. En un mot, tout ce qui était cause dans le transmetteur devient effet dans le récepteur, et les effets deviennent cause. Tout recommence ici dans un ordre inverse, et la seconde membrane M′ rend finalement tous les sons déjà rendus par la première M; si donc on approche son oreille de la seconde, on entend toutes les modulations des sons qui ont mis la première en branle.

On trouve dans cet appareil tout ce qui se trouve dans le porte-voix ordinaire : similitude des appareils aux deux extrémités, qui sont indifféremment récepteurs ou transmetteurs. La hauteur des sons, leur intensité, leur timbre, sont reproduits à distance ; la voix d'un ami se reconnaît de suite ; la voix d'une femme se distingue de celle d'un homme ; sans doute la voix n'arrive pas à l'oreille avec un caractère musical sans aucune variation. Vous entendez non pas la voix, mais l'image de la voix ; de même que vous reconnaissez une personne en voyant son image dans un miroir ; et que vous sentez bien que c'est son image que vous voyez et non pas elle. Dans une image, si parfaite qu'elle soit rendue par un miroir, ce miroir donne un caractère spécial, qui est différent pour un miroir étamé ordinaire, pour un miroir d'argent, pour un miroir de cuivre. Dans le téléphone la voix parvient à l'auditeur légèrement touchée par la nature de la membrane ou des membranes de fer qui lui ont servi de véhicule. Elle l'est d'ailleurs aussi dans le porte-voix.

Une chose digne de remarque dans cet appareil, c'est la faiblesse des forces mécaniques mises en jeu. Dans la télégraphie ordinaire on met généralement en action une pile qui dépense et fournit du travail ; de plus, la main fait un mouvement plus ou moins grand, et si l'on emploie un transmetteur automatique, un ressort, armé au préalable, se détend et fait courir un rouage. Ici le travail moteur est celui de la voix ; sans doute ce n'est pas un travail nul, et la fatigue qu'on éprouve quand on a parlé ou chanté longtemps est une preuve qu'on fait un travail sensible. Il n'y a que des personnes remarquablement constituées qui puissent emplir une salle de spectacle du son de leur voix, c'est-à-dire faire vibrer tout l'air qu'elle renferme, et, au delà des cloisons, faire encore vibrer l'air dans les couloirs ; ces personnes font un travail mécanique évident et qui se produit par des contorsions du corps chez les chanteurs qui sentent qu'ils manquent de voix.

Avant de terminer, nous allons faire connaître rapidement les épreuves qui ont été faites avec le téléphone de Bell.

Si l'on est dans une chambre absolument silencieuse, on entend des phrases prononcées à voix très-basse, on entend le bruit de la respiration, on entend tousser, on entend siffler, etc. L'appareil peut être entendu au travers d'un fil télégraphique même fort long :

rien ne serait plus facile que de parler de Paris à Versailles. M. Preece, électricien du Gouvernement anglais, qui a montré le téléphone à l'Association britannique, à Plymouth, dit avoir conversé plusieurs fois à 32 milles de distance, et nous espérons que les expériences anglaises seront reproduites sur les lignes françaises.

L'appareil admirable de M. Bell a cependant un défaut qui résulte de sa perfection même, perfection qui consiste à mettre en œuvre des moyens si réduits. Quand le fil de correspondance est placé dans le voisinage d'autres fils conducteurs parcourus par des courants télégraphiques, ces courants produisent des effets d'induction qui troublent la communication par le téléphone, et qui lui font rendre des sons discordants, que M. Preece compare au bruit de la grêle frappant des carreaux de vitre. Cet inconvénient ne doit pas être exagéré, car il y a bon nombre de lignes sur lesquelles il n'y a qu'un seul fil et sur lesquelles, par conséquent, il ne peut y avoir d'induction à redouter; et là où il n'y a que deux fils peu occupés, l'un des deux pourrait presque toujours servir à la communication téléphonique.

Resterait l'action des courants telluriques, c'est-à-dire des courants produits par des actions naturelles, qu'on rattache au phénomène des aurores boréales, et qui parcourent les lignes télégraphiques. Ils troubleront le téléphone, mais ils troublent aussi le télégraphe, quoique à un moindre degré.

Les téléphones, même perfectionnés, sont-ils destinés à remplacer tous les télégraphes? Certainement non. D'abord il est clair qu'ils ne remplaceront pas l'appareil qui envoie le portrait d'un malfaiteur; d'autre part il y a souvent une grande importance à ce que la trace d'une dépêche soit gardée. Enfin il y a des systèmes télégraphiques d'une rapidité telle que la transmission par un seul fil est plus rapide que la parole; et cependant trace est laissée des dépêches. Ces systèmes rapides s'imposent absolument pour les longues lignes très-chargées, parce qu'ils permettent de faire un service considérable avec un nombre de fils relativement petit, et par suite avec une mise de fonds limitée.

SÉANCE DU 7 DÉCEMBRE 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Bordet, ancien élève de l'École Polytechnique à Paris ; Lutz, constructeur d'instruments d'optique à Paris ; Pucheu, professeur de Chimie au Collége de Béziers ; Varache, professeur de Physique au Collége de Béziers.

M. Gernez communique à la Société le résultat de ses expériences sur l'influence qu'exerce une action mécanique sur la production de divers hydrates dans les solutions aqueuses sursaturées.

M. Rosenstiehl expose les résultats qu'il a obtenus en employant les disques rotatifs à l'étude des phénomènes des perceptions lumineuses.

Production de divers hydrates dans les solutions sursaturées concentrées sous l'influence d'une action métallique; par M. D. Gernez.

Les solutions aqueuses sursaturées d'un grand nombre de sels laissent déposer spontanément, lorsque la concentration atteint une certaine limite, des cristaux d'un sel moins hydraté que le sel ordinaire.

Si l'on ne pousse pas la concentration tout à fait assez loin pour observer ce dépôt spontané, on obtient le plus souvent des solutions encore assez riches pour être sursaturées, même par rapport à ce sel moins hydraté, et l'on s'en assure en y introduisant une parcelle cristalline du sel qui se développe aussitôt seul et en quantité d'autant plus abondante que la concentration a été poussée plus loin.

Supposons que dans une solution de ce genre on introduise une

tige rigide et qu'on s'en serve pour exercer un frottement un peu vif contre les parois du vase baignées par le liquide, il pourra se faire qu'on détermine la production de cristaux. Cette action mécanique ne fait pas naître ces cristaux dès qu'ils sont possibles : j'ai reconnu, en effet, que des solutions assez concentrées pour abandonner le sel moins hydraté au contact d'un germe cristallin de même forme résistent aux frottements les plus énergiques, lorsque la sursaturation n'est pas très-avancée, tandis qu'un frottement relativement modéré détermine d'autant plus facilement la cristallisation que la concentration du liquide est plus voisine du maximum.

En étudiant la manière dont se comportent les diverses solutions concentrées susceptibles de déposer des hydrates différents au contact de germes cristallins et qui donnent des cristaux sous l'influence d'une action mécanique, j'ai reconnu que les phénomènes peuvent se rattacher aux trois cas que je vais indiquer en signalant quelques expériences de cours qui les mettent en évidence.

1° Il se produit des cristaux du sel le moins hydraté : c'est le cas bien connu présenté par le sulfate de soude. Les solutions de cette substance contenant au moins deux parties de sel ordinaire pour une partie d'eau, privées de sel anhydre en suspension et refroidies au-dessous de $+8°$, abandonnent par frottement une abondante cristallisation de l'hydrate à 7HO. Le chromate de soude se comporte de la même manière, et ses solutions très-concentrées, refroidies à une température voisine de zéro, donnent par frottement des cristaux de l'hydrate à 4HO.

2° Le deuxième cas est celui où il se produit des cristaux du sel le plus hydraté, bien que l'on puisse par le contact d'un cristal faire naître dans la même solution le sel le moins hydraté.

Ce cas se présente, par exemple, avec l'acétate de soude. Pour l'observer, on introduit dans un tube fermé à un bout des cristaux d'acétate de soude ordinaire à 6HO ; on chauffe jusqu'à l'ébullition de manière à éliminer une petite quantité d'eau, puis on refroidit le tube après l'avoir bouché et on l'agite de temps en temps pour empêcher la formation, par refroidissement superficiel, des cristaux de l'hydrate à 3HO. On obtient ainsi un liquide qui peut être facilement amené à la température de fusion de la glace sans cristalliser.

Dans ces conditions, il peut donner, sous l'influence d'un germe cristallin, l'un ou l'autre des deux hydrates, et, par un refroidissement rapide, il produirait spontanément l'hydrate à 3HO; mais, vient-on à y introduire une tige rigide, puis à exercer un léger frottement contre les parois, on détermine immédiatement la solidification sur la ligne des points frottés avec d'autant plus de facilité que la concentration du liquide est plus grande. Les cristaux ainsi formés sont ceux de l'acétate de soude ordinaire à 6HO et l'on voit que ce liquide se comporte comme si les cristaux d'acétate de soude ordinaire étaient à l'état de surfusion.

3° Le troisième cas est celui que j'ai observé dans les solutions concentrées de chlorure de calcium, qui peuvent donner par frottement d'abord le sel le moins hydraté, puis le sel le plus hydraté. Voici comment on peut obtenir ce résultat : on fond dans un tube fermé à une extrémité des cristaux de chlorure de calcium à 6HO, et l'on amène le liquide à l'ébullition pour chasser une petite quantité d'eau. On bouche l'orifice du tube et on laisse refroidir lentement le liquide, en l'agitant de temps en temps, pour éviter la production spontanée de cristaux à 4HO qui se formeraient par évaporation à la surface et s'étendraient ensuite dans toute la masse liquide. On amène ainsi la solution à 15° et, après avoir constaté qu'elle est bien limpide, on y introduit une tige rigide, une longue aiguille d'acier par exemple ; on en frotte *très-légèrement* la pointe contre la paroi du tube baignée par le liquide, et l'on voit naître aussitôt des cristaux de chlorure de calcium à 4HO, qui se développent peu à peu avec dégagement de chaleur et envahissent tout le liquide sous forme de longues aiguilles feutrées. On attend que la masse ait repris la température ambiante de 15°, et l'on obtient rapidement ce résultat en laissant séjourner le tube dans un bain d'eau à cette température. On frotte alors de nouveau un peu vivement le fond du tube en déplaçant l'aiguille, et il se produit immédiatement, le long des points frottés, des cristaux qui grandissent plus vite que les précédents, en dégageant une nouvelle quantité de chaleur, et solidifient bientôt la presque totalité du liquide. C'est le chlorure de calcium à 6HO qui se forme ainsi après l'autre hydrate, si la première action mécanique a été très-faible; mais, dans le cas où l'on exerce dès le début une friction énergique, on n'observe que le second phénomène, car les cristaux à 6HO,

se développant beaucoup plus rapidement et en plus grande abondance que les autres, masqueraient évidemment leur formation dans le cas où ils auraient commencé à se produire.

De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations lumineuses colorées; par M. Rosenstiehl.

Newton s'est servi des disques rotatifs pour faire la synthèse de la lumière blanche, à l'aide de secteurs colorés par des matières colorantes. MM. Plateau, Helmholtz et Dove les ont employés pour démontrer la différence qu'il y a entre le mélange des matières colorantes et celui des sensations lumineuses qu'elles provoquent. M. Maxwell en a tiré parti pour étudier les propriétés physiologiques de l'œil et pour classer les matières colorantes d'après des types choisis arbitrairement. Le présent travail touche à toutes ces différentes questions. J'avais à ma disposition les ressources d'une grande fabrique d'impressions. Les manipulations ont été faites par un employé spécial; les jugements de l'œil, que j'aurai à consigner ici, ne sont pas l'expression d'un sentiment personnel, ils sont celui d'hommes dont l'œil a reçu une éducation exceptionnelle par les soins journaliers qu'exige la fabrication des toiles peintes.

Pour simplifier l'exposé de mes expériences, je suppose connus les travaux de M. Chevreul sur le contraste simultané des couleurs, et je me servirai du langage qu'il a adopté quand il a créé le cercle chromatique qui porte son nom. Toutes les couleurs dont il sera question ici sont rapportées à ce cercle, avec lequel M. Chevreul a bien voulu me permettre de les comparer.

L'ordre que je suivrai dans cet exposé est à peu près celui dans lequel les questions se sont présentées pendant le cours du travail. J'étudierai, à l'aide des disques rotatifs : 1° comment se modifie l'aspect d'une matière colorante quand on la mélange à du noir pour la rabattre, ou à du blanc pour l'éclaircir ; 2° je comparerai les couleurs ainsi obtenues à celles que l'on obtient avec la même matière colorante, quand, au lieu de la mélanger avec des matières

incolores, on mélange l'impression qu'elle produit sur l'œil avec l'impression de la lumière blanche et du noir absolu; 3° j'examinerai ensuite quelle est la condition que doivent remplir une série de couleurs, pour qu'elles paraissent équidistantes à l'œil, en prenant pour point de départ le cercle chromatique de M. Chevreul.

I. — Emploi du disque rotatif.

Je me suis servi du disque rotatif de trois manières différentes.

Première manière : *Détermination des couleurs complémentaires par rapport à la lumière blanche.* — Les couleurs sont fixées sur de petits disques de papier fort, découpés à l'aide d'un emporte-pièce spécial; ces petits disques sont fendus en partie selon un rayon, en partie selon une circonférence, ce qui permet d'en engager deux l'un dans l'autre et de faire varier rapidement l'angle relatif des secteurs, jusqu'au moment où, par la rotation rapide du petit disque autour de son centre, la surface paraisse d'un gris uniforme, parfaitement incolore.

On n'arriverait à aucun résultat exact si l'on n'avait sous les yeux un type; celui-ci doit être non-seulement parfaitement incolore, mais aussi de même *hauteur de ton* que le gris produit par les deux complémentaires. Cette condition est réalisée par la disposition suivante. Dans une caisse en bois, fermée de tous côtés, tapissée intérieurement de velours noir, est percé un trou ; devant cet orifice circulaire, qui est d'un noir aussi parfait qu'il est possible de le réaliser, je place un secteur blanc (papier peint avec du sulfate de baryte pur) à angle variable. Celui-ci peut être mis en rotation rapide à l'aide d'un axe qui traverse la caisse et aboutit normalement au centre du trou. Il se produit ainsi un gris dont je fais varier à volonté le ton en modifiant l'angle du secteur blanc. Au centre du cercle, je dispose sur le même axe les petits disques fendus dont il a été question plus haut, colorés par les couleurs complémentaires. Par tâtonnement, on arrive rapidement à obtenir deux gris qui, à la vue, paraissent identiques, quoique obtenus de deux manières si différentes. En mesurant l'angle des secteurs, on connaît : 1° la proportion des deux couleurs qui reproduisent la

lumière blanche ; 2° la quantité de lumière blanche reproduite. Le principal intérêt de ces chiffres est de permettre de comparer entre elles toutes les couleurs qui ont même couleur complémentaire, c'est-à-dire celles qui résultent de la modification par la lumière blanche, ou par le noir, d'une seule et même couleur spectrale. La suite fera ressortir l'utilité de cette comparaison.

Deuxième manière : *Détermination des couleurs qui sont complémentaires par rapport à une lumière colorée donnée.* — Quand on met en rotation rapide un disque couvert de secteurs de couleurs non complémentaires, il en résulte une troisième couleur, plus ou moins éclaircie par du blanc et rabattue par du noir ; cette même couleur peut être reproduite directement par un seul secteur coloré servant de type, auquel on adjoint des secteurs blancs et noirs. C'est ainsi que le violet et l'orangé produisent le rouge ; l'orangé et le vert produisent du jaune ; le vert et le violet produisent du bleu.

J'ai utilisé ce procédé pour étudier la répartition des couleurs primaires des artistes : le rouge, le jaune et le bleu, dans le premier cercle chromatique de M. Chevreul.

Troisième manière : *Modification d'une couleur donnée par la lumière blanche, le noir absolu, ou par les deux à la fois.* — Un secteur coloré par l'une des couleurs franches du premier cercle chromatique de M. Chevreul est placé sur un disque qui est soit blanc, soit noir, soit les deux à la fois. En le mettant en rotation rapide, sa surface prend une teinte uniforme, que j'ai fait copier par un peintre, pour la conserver. En variant l'angle des secteurs colorés, blancs ou noirs, on obtient une infinité d'aspects, qui constituent autant de couleurs que j'appelle *dérivées* de la couleur primitive. *Ces dérivées sont définies par les angles des secteurs qui les composent.*

Dans cette mesure, il y a trois données, dont deux sont nettement définies : ce sont le blanc et le noir ; la troisième, la couleur franche, ne peut être définie que par rapport à un type arbitraire. J'ai choisi les couleurs franches du cercle chromatique de M. Chevreul, tel qu'il a été reproduit par la chromolithographie.

Pour que ce procédé fût universellement applicable, il suffirait

que des tissus teints selon les couleurs types des Gobelins fussent mis dans le commerce. Le langage des ouvrages spéciaux gagnerait par là en précision.

II. — Manière dont se modifie l'aspect d'une matière colorante, quand on la rabat par du noir ou qu'on l'éclaircit par du blanc matériel.

J'ai imprimé au rouleau, sur de l'étoffe blanche, un jaune orangé; la couleur qui a servi à le produire a ensuite été étendue de son volume d'un épaississant incolore, et le nouveau mélange imprimé à son tour; en continuant à affaiblir la couleur par l'addition de matières incolores, en suivant une progression géométrique, et en imprimant sur étoffe, j'ai obtenu une succession de *tons* de la même couleur, ce que M. Chevreul appelle une *gamme*. Ce procédé est celui que l'on emploie en impression quand on veut *éclaircir* une couleur. C'est aussi celui que l'on emploie en peinture à l'aquarelle. C'est le blanc de l'étoffe ou du papier qui, apparaissant à travers la matière colorante translucide, en affaiblit la couleur.

J'ai déterminé ensuite la complémentaire de chacun de ces tons; j'avais pensé que la complémentaire du ton le plus foncé serait aussi celle des autres tons, et qu'il n'y aurait rien de changé que le rapport des surfaces; mais il n'en a rien été. Voici la complémentaire de chaque ton :

Couleur la plus foncée......	Premier vert bleu.
Intensité $\frac{1}{2}$.................	Deuxième »
» $\frac{1}{4}$.................	Quatrième »
» $\frac{1}{8}$.................	Bleu.

L'écart est considérable, et l'altération s'est faite de manière que les tons clairs se comportent comme s'ils étaient plus verdâtres, comme si la couleur primitive avait *perdu du rouge*.

Ce phénomène est constant : je l'ai constaté pour le bleu, pour le violet, le violet rouge, l'orangé et le jaune. Il est maximum pour le jaune et le bleu; il est nul pour le rouge et le vert, intermédiaire pour les autres couleurs. Il est indépendant de la com-

position chimique de la matière colorante ou de l'épaississant incolore employé; qu'une couleur soit obtenue par des matières pulvérulentes, comme l'outremer; produite sur un point par vaporisage, comme les bleus aux cyanures de fer; ou par teinture, comme l'indigo et les bleus d'aniline; toujours on constatera cette perte de rouge, qui sera d'autant plus grande que la couleur aura été plus affaiblie. Le phénomène est encore bien plus marqué si l'on emploie des matières blanches ou des matières noires, comme le noir de fumée. Ce dernier cas est bien connu, et M. Chevreul, qui le cite, l'énonce en disant que le noir matériel agit souvent comme du bleu. Je pense que l'effet du noir est un cas particulier du phénomène général que je viens de décrire, et qu'on peut énoncer ainsi :

Quand on affaiblit les couleurs d'une matière colorante par des matières incolores (blanches, grises ou noires), le mélange est notablement plus vert que la matière colorante qui lui donne sa couleur.

III. — Manière dont la couleur se modifie quand on mêle la lumière colorée qu'elle émet avec la lumière blanche, ou avec le noir absolu (*Mélange des sensations*).

J'ai construit la gamme du même jaune orangé, en m'imposant cette condition que chaque *ton* eût même complémentaire que la couleur la plus foncée. L'aspect d'une pareille gamme, que j'appellerai *vraie* ou *physiologique*, est complétement inaccoutumé. Les tons clairs paraissent notablement plus rougeâtres que le ton le plus foncé. Voici la place occupée dans le cercle chromatique de M. Chevreul par les tons de la gamme vraie du cinquième orangé:

Premier orangé rouge..........	1er ton.
Troisième »	2e »
Quatrième orangé rouge........	3e ton.
Cinquième »	4e »
Deuxième orangé..............	5 ½ »
Quatrième orangé..............	8e »

On peut voir, d'après cela, combien la lumière blanche paraît rougir une couleur en s'y mêlant. Brücke a déjà observé l'apparence

rougeâtre des tons clairs du bleu et du jaune, si on les mêle avec de la lumière blanche par le procédé Lambert. Le bleu lui a paru lilas, le jaune d'un orangé pâle. Il conclut de ces faits que la lumière blanche se comporte comme si elle contenait un *excès de rouge*. « En appelant *surfaces blanches* celles qui réfléchissent la lumière du jour sans changements chromatiques, nous devons admettre que *la lumière diffuse du jour est rougeâtre* » (Brucke, *Physiologie den Farben*, p. 46; Leipzig, 1876).

Je fais observer que les tons clairs d'une couleur, qui résultent de son mélange avec la lumière blanche, qu'ils aient été obtenus par le procédé Lambert, par le prisme biréfringent ou par le disque rotatif, ont *tous même complémentaire*.

La composition physique de la lumière colorée est donc la même. Les tons clairs ne *sont* donc pas plus rougeâtres, ils le *paraissent*. Nous sommes ici en présence d'un jugement de l'œil, qui n'est établi que par comparaison inconsciente avec les tons clairs obtenus par le mélange de matières colorantes et de matières incolores. Ces derniers sont les seuls que l'on ait connus jusqu'à présent; mais j'ai démontré que ces tons clairs ont *perdu* du rouge, ils ne sont plus les vrais dérivés de la couleur qui a servi de point de départ.

On sait que, quand l'œil se fixe pendant quelques instants sur un objet coloré bien éclairé, et qu'il s'en détache brusquement pour se reposer sur une surface incolore, il en voit l'image colorée en une couleur fort différente de celle de l'objet. On a appelé cette couleur *complémentaire physiologique*, pour la distinguer de la complémentaire que fournissent les instruments d'optique fondés sur la polarisation rotatoire, et que l'on appelle *complémentaire physique*. Des auteurs affirment que ces deux complémentaires sont différentes, que les premières paraissent constamment plus rouges que les secondes. Je n'ai pas tardé à reconnaître que c'est une erreur.

Que l'on fixe, par exemple, le bleu (4e vert bleu, 10e ton) complémentaire du 5e orangé, l'œil verra, après s'être détaché, une couleur *chair* qu'il trouve assez bien représentée par le 1er orangé rouge, 1er ton. Se fiant à son jugement, on dira : Le 4e bleu vert, 10e ton, a pour complémentaire physique le 5e orangé, 8e ton, et pour complémentaire physiologique le 1er orangé rouge, 1er ton ;

donc les deux complémentaires ne sont pas identiques entre elles. Mais j'ai fait voir que le 1[er] orangé rouge, 1[er] ton, fait partie de la gamme vraie du 5[e] orangé; le jugement de l'œil est influencé par une comparaison inconsciente, qu'il établit entre la couleur qu'il voit et celle qui résulterait du mélange des matières colorantes et des matières incolores. Il compare entre elles une couleur foncée et une autre qui est éclaircie par de la lumière blanche. On le voit, il n'y a lieu de faire aucune différence entre les deux espèces de complémentaires; il n'existe que la complémentaire physique, à laquelle il faut ajouter les nombreux dérivés, que l'on obtient en y mêlant des quantités variables de lumière blanche.

La lumière blanche, en se mêlant à la lumière colorée, paraît donc la rougir considérablement. Mais ne n'est pas là la seule modification qu'elle fait éprouver à l'aspect de la couleur : il s'en produit encore une autre qui n'est pas moins intéressante, et qui ne manque pas de frapper quand on la voit pour la première fois. Un exemple la fera comprendre.

Je couvre la surface d'un disque avec un secteur blanc et un secteur coloré en bleu par de l'outremer. En mettant en rotation rapide, la couleur résultante sera un lilas passablement gris. Pour copier cette couleur, je suis obligé d'employer non-seulement de l'outremer et du blanc (sulfate de baryte), mais encore du carmin de cochenille, pour compenser la *perte* de rouge; ce mélange étant encore trop vif, il faut y ajouter du noir pour le rabattre. L'effet de la lumière blanche est donc de *ternir la couleur de la matière colorante.*

Les diverses matières colorantes dont la couleur est considérée comme franche ne subissent pas ce rabat de la même manière. Les tons clairs de l'outremer bleu et du carmin de cochenille paraissent bien plus ternir que ceux du jaune et de l'orange de chrome. L'explication de ce fait remarquable se trouvera très-naturellement dans ce qui va suivre. Ce qu'il faut retenir pour le moment, c'est que la lumière émise par une matière blanche, mêlant son impression à celle de la matière colorante, la ternit toujours, quoique, par le *mélange des mêmes matières, il soit possible d'obtenir des couleurs très-vives.*

Le *noir absolu,* au contraire, exerce une action toute différente :

devant l'orifice circulaire, qui ne renvoie à l'œil aucune lumière, je place un secteur coloré en une couleur franche, et je mets en rotation rapide, de manière à mélanger dans l'œil les sensations de la couleur et du noir absolu. Tout le disque présentera un aspect uni, d'une couleur tellement foncée, et en même temps si vive, qu'il m'a été impossible, dans la plupart des cas, de la reproduire avec des matières colorantes. Il n'y a que le velours teint qui se rapproche quelque peu de cette vivacité jointe à tant d'intensité, et qui permette de se faire une idée de ces phénomènes. Ces expériences sont certainement au nombre des plus belles que l'on puisse faire avec les disques rotatifs. Elles démontrent cette proposition, qu'il eût été impossible d'établir *a priori : Le noir absolu ne ternit pas la couleur, il la fonce en lui laissant sa vivacité,* tandis que la lumière blanche la ternit, ainsi qu'on l'a vu plus haut. J'avoue qu'avant d'avoir vu ces expériences je croyais le contraire.

Si l'on met sur le disque rotatif à la fois des secteurs blancs et des secteurs colorés, en même temps qu'on laisse des secteurs noirs (qui dans ces expériences sont toujours représentés par l'orifice noir), on peut obtenir de la même couleur une infinité de dérivées, selon que l'on fait varier les angles des mêmes secteurs. Parmi toutes les combinaisons possibles que j'ai réalisées, je ne veux en considérer ici qu'une seule, celle où l'angle du *secteur coloré reste constant,* et où l'on ne fait pas varier les angles des secteurs blancs et noirs. On obtient de cette manière des couleurs qui ont toutes un caractère commun : elles émettent la même quantité de lumière colorée par unité de surface ; mais leur aspect est fort différent. *Celles où le noir domine paraissent bien plus colorées que celles où la lumière blanche est en majorité. Ces dernières paraissent littéralement grises par rapport aux premières.* On retrouve donc ici, sous une autre forme, les propositions énoncées plus haut : 1° Le noir *seul* ne ternit pas une couleur franche, il lui conserve sa vivacité en la fonçant. 2° La lumière blanche ternit la couleur d'une matière colorante en l'éclaircissant.

Cependant la quantité de lumière colorée est la même dans ces dérivés, ainsi qu'on le constate par la mesure directe, en déterminant l'angle du secteur de leur complémentaire commune qui re-

produit avec elle le gris normal. Cet angle est pour toutes exactement le même. D'où vient alors cette différence d'aspect? Pourquoi les dérivés contenant le plus de noir paraissent-ils moins ternis que les dérivés contenant le plus de blanc, quand les uns et les autres émettent la même quantité de lumière colorée? L'explication est toute naturelle.

Il s'agit ici d'un mélange de sensations et non d'un mélange de matières. Une lumière colorée, quelque vive qu'elle soit, n'est qu'une fraction de la lumière blanche incidente. Celle-ci agit donc plus vivement sur l'œil et affaiblit par là l'impression de la lumière colorée. Tandis que le noir, qui est l'absence de toute lumière, laissera briller la lumière colorée, quelque petite qu'en soit la quantité, dans tout son éclat, sans rien y ajouter qui puisse nuire à son impression sur l'œil.

En réfléchissant à l'ensemble de ces phénomènes, on arrive à comprendre qu'une matière colorante puisse paraître douée d'une couleur très-franche, quoiqu'elle contienne en réalité beaucoup de noir absolu, c'est-à-dire qu'elle absorbe en réalité une partie notable de la lumière blanche incidente. Cette absorption ne devient visible que si l'on mêle à la lumière colorée de la lumière blanche; c'est ce qui explique pourquoi les tons clairs que l'on obtient à l'aide du disque rotatif sont plus gris que la couleur qui a servi de point de départ.

Mais ce dérivé n'est pas plus rabattu que la couleur qui lui a donné naissance; par l'effet de la rotation du disque il n'a pas disparu de lumière colorée, ainsi que le constate la lumière directe. Si, néanmoins, il nous paraît en être ainsi, c'est à la suite d'une comparaison inconsciente que nous établissons, avec la couleur que l'on obtiendrait en mêlant la matière colorante avec la matière blanche.

Il est bon de faire remarquer que les phénomènes décrits dans cette Note ne sont nullement particuliers aux seuls mélanges obtenus avec les disques rotatifs. Tout procédé permettant de mêler, ou mieux de superposer deux sensations lumineuses, donne le même résultat. Tels sont : le stéréoscope, le prisme biréfringent et le procédé Lambert, qui consiste à superposer l'image d'un objet, vu par réflexion, à un autre objet vu par transparence à travers une glace sans tain. Mais ces divers procédés ne permettent

d'obtenir qu'un seul dérivé, celui qui résulte de la superposition de surfaces égales blanches et colorées, tandis que le disque rotatif permet de faire le mélange des impressions en toute proportion.

Les applications qui découlent des diverses propositions que j'ai démontrées expérimentalement dans ce qui précède sont nombreuses; je les décrirai ultérieurement. Pour le moment je ne veux en déduire qu'une seule conclusion purement scientifique : elle est relative à l'action physique des matières colorantes sur la lumière blanche et se résume en deux propositions : La couleur d'une matière colorante varie avec l'épaisseur sous laquelle elle est vue; elle est d'autant plus rapprochée du rouge que l'épaisseur en est plus grande et d'autant plus rapprochée du vert que cette épaisseur est plus faible. Toute matière colorante, quelque pure qu'elle soit, éteint totalement une partie de la lumière blanche incidente.

IV. — Études sur les cercles chromatiques de M. Chevreul.

Une des plus intéressantes applications des cercles rotatifs, c'est l'étude des cercles chromatiques de M. Chevreul. On sait que, pour établir ces cercles, qui sont actuellement le moyen le plus rationnel de définir et de classer les couleurs, M. Chevreul a pris comme point de départ les trois couleurs que les artistes considèrent comme primaires : le rouge, le jaune et le bleu. Les considérant comme équidistantes à la vue, il les a placées à égale distance l'une de l'autre sur une circonférence et a fait intercaler entre chaque couple vingt-trois intermédiaires, aussi équidistants que possible. L'ensemble de ces soixante-douze couleurs, choisies à la même hauteur de ton, constitue le premier cercle chromatique. Chacune d'entre elles forme ensuite le point de départ de toute une série d'autres couleurs, résultant de sa modification par le blanc, par le noir, ou par les deux à la fois.

L'ensemble des dégradations d'une couleur, allant d'un côté vers le noir, de l'autre vers le blanc, s'appelle *gamme*. La gamme est divisée en vingt tons, dont le dixième, situé à égale distance des extrémités, représente la couleur franche du premier cercle. Entre le noir et le blanc, M. Chevreul a intercalé vingt tons de gris parfaitement incolores; le dixième ton de cette gamme est à égale

distance entre le noir et le blanc et paraît à la vue aussi foncé que les couleurs franches du premier cercle. Entre le dixième ton de la gamme du noir et chaque couleur franche du premier cercle, M. Chevreul a intercalé neuf couleurs représentant le passage gradué de cette couleur au gris incolore. Chacune de ces neuf couleurs forme elle-même le dixième ton d'une gamme allant, comme celles du premier cercle, du noir au blanc. Tous les cas possibles se trouvent donc réalisés par cette combinaison, et chaque couleur de la nature y trouve sa place.

Cette construction chromatique a été réalisée sous la direction de M. Chevreul par les teinturiers des Gobelins, c'est-à-dire par des hommes dont l'œil a reçu une éducation exceptionnelle pour juger des couleurs. Les cercles chromatiques constituent donc comme conception et comme exécution un document de la plus grande valeur pour l'étude des jugements de l'œil, en ce qui concerne l'équidistance soit des couleurs franches, soit des tons d'une même gamme, soit enfin des intermédiaires entre la couleur franche et le gris incolore de même hauteur de ton.

J'ai tenté de faire cette étude à l'aide des disques rotatifs; mais j'ai été limité dans ce travail par ce fait que je n'avais pas le cercle chromatique original à ma disposition. Je me suis servi de la copie chromolithographiée qui en a été faite par M. Digeon, et qui se trouve dans le commerce. Cette copie ne s'étend qu'aux dix cercles comprenant les couleurs franches et leur modification par le dixième ton de la gamme du noir. Elle ne donne qu'une seule gamme, celle du bleu. Cette copie présente quelques défauts que je signalerai dans un travail plus étendu. M. Chevreul a bien voulu me permettre de comparer la copie que j'en ai faite moi-même avec les originaux déposés aux Gobelins. Mais, malgré ses imperfections, j'ai pu établir par son étude quelques points qui permettent de porter un jugement sur les propriétés de l'œil en ce qui concerne l'évaluation des distances entre deux couleurs.

Répartition des couleurs dites primaires, *rouge, jaune, bleu dans le premier cercle chromatique.* — Un exemple suffira pour faire comprendre comment on a pu déterminer la proportion des deux couleurs primaires, qui, dans la conception des artistes, constituent ce qu'ils appellent une couleur *composée.* Je suppose qu'il

s'agisse de déterminer la composition de l'orangé, placé par M. Chevreul à égale distance entre le rouge et le jaune.

La complémentaire du jaune étant le bleu, je forme, à l'aide de secteurs découpés dans du papier peint, un disque entièrement ouvert d'orangé et de bleu, et je mets en rotation rapide. Le bleu reproduira, avec le jaune de l'orangé, de la lumière blanche, et ne laissera subsister que le rouge. Il n'y a qu'à déterminer par des tâtonnements les angles des secteurs qui forment le rouge sans numéro des cercles chromatiques. La couleur résultante ne sera pas franche; elle sera rabattue par du noir et éclaircie par du blanc.

Il est aisé de reproduire cette couleur avec du rouge dont on couvre des secteurs de blanc et de noir absolu. En disposant cet ensemble en deux cercles concentriques, on facilite la comparaison, et l'on arrive rapidement, en faisant varier, par tâtonnement, les angles des secteurs, à leur donner un aspect identique.

En mettant alors l'appareil au repos, on lit sur un cercle gradué les angles de chaque secteur et l'on trouve que 140° d'orangé + 220° de bleu reproduisent un rouge que l'on a reproduit d'autre part par 218° de rouge, 56° de blanc et 86° de noir. Par un simple calcul de proportion on trouve que cent surfaces d'orangé émettent autant de rayons rouges que cent cinquante-cinq surfaces du rouge qui a servi de type. Pour trouver la proportion de jaune contenue dans le même orangé, on détermine par une expérience préliminaire la relation entre le jaune et le bleu complémentaire, et l'on trouve que 288° de bleu neutralisent 72° de jaune. Les 220° de bleu de la première expérience neutralisent donc 55° de jaune qui sont émis par 140 d'orangé; en réduisant en centièmes, on trouve que 100° d'orangé produisent l'impression de rouge 155° + jaune 40° = 195°.

On remarque de suite que la somme des sensations dépasse 100, ce que j'interprète en disant que l'orangé du cercle que j'ai copié est plus vif que ne le sont le rouge et le jaune du même cercle; il aurait donc fallu le rabattre ou bien choisir comme unité du rouge ou du jaune plus vifs. Le défaut que je signale ne saurait avoir d'influence sur le rapport qui existe entre les deux couleurs primaires qui constituent l'orangé. J'ai procédé de même pour tous les numéros pairs du premier cercle chromatique, en répétant les expériences à diverses époques pour avoir des valeurs moyennes.

Dans le cours de ce travail, je n'ai pas manqué de constater qu'il est impossible de classer le vert par rapport au jaune et au bleu. Ces deux couleurs étant complémentaires, le mélange de leurs impressions ne produit jamais la sensation du vert; ce résultat n'est, du reste, pas nouveau; il confirme les expériences déjà anciennes de MM. Plateau, Helmholtz et Maxwell. J'ai dû prendre comme auxiliaire une quatrième couleur : c'est le quatrième vert, complémentaire du rouge, de sorte que j'ai opéré avec deux couples de couleurs complémentaires, le rouge et le quatrième vert, le jaune et le bleu. Je ne donnerai pas le résultat numérique des expériences : il suffira d'en présenter le résumé.

J'ai porté sur un papier quadrillé les valeurs obtenues, en représentant par des ordonnées équidistantes la quantité de chaque couleur primaire trouvée dans chaque intermédiaire, après avoir ramené à l'unité de surface. En réunissant par une ligne les extrémités des ordonnées, on constate qu'elle est à peu près droite; on ne pourrait la remplacer par une courbe vraisemblable. Elle oscille de côté et d'autre de la droite, comme le fait un sentier tracé entre deux points. L'image du sentier qui serpente à travers la plaine rend assez bien compte de la manière dont l'œil juge l'équidistance des couleurs. Il ne faut pas oublier que je n'ai travaillé qu'avec la copie d'un cercle qui n'est lui-même qu'une copie d'un cercle chromatique. L'original des Gobelins, d'une exécution bien supérieure, aurait assurément donné des écarts encore moindres et le tracé se serait rapproché davantage d'une droite.

En dehors de cette question, j'ai étudié l'équidistance à la vue entre une couleur franche et le dixième ton de gris de la gamme du noir. Je n'ai pu opérer que sur le rouge, parce qu'il est la seule couleur qui ne subisse pas l'altération que j'ai désignée plus haut sous le nom de *perte de rouge,* quand on la modifie par du noir ou du blanc; car le disque rotatif ne permet de comparer entre elles que des couleurs qui ont même complémentaire, parce qu'elles seules ont une commune mesure. Ici encore j'ai trouvé que la ligne droite représente le passage gradué de la couleur au gris de même hauteur, résultat qui a pu être contrôlé par la voie synthétique.

Dans ce but, je compose un gris qui est à la vue de même hauteur de ton que le rouge du dixième cercle; il est obtennu par 32° de lumière blanche et 228° de noir absolu. J'obtiens alors le rouge

du deuxième cercle, qui est, on le sait, rabattu de $\frac{1}{10}$ de noir, en couvrant le disque d'un secteur de 36° de gris et de 228° de rouge; on met en rotation rapide et l'on constate son identité avec le rouge du deuxième cercle, que l'on a peint sur un petit disque placé au centre du premier. Toutes les autres intermédiaires s'obtiennent de même, en donnant aux secteurs gris et aux secteurs rouges des angles qui sont entre eux comme les chiffres 2 à 8, 3 à 7, 4 à 6, 5 à 5, etc.

On donne à l'expérience une forme plus saisissante en disposant les différents disques dont je viens de parler en anneaux concentriques. En mettant en rotation rapide, on voit, disposés autour du même centre, les différentes couleurs marquant par degré le passage du rouge au gris. L'équidistance à la vue des neuf intermédiaires est des plus satisfaisantes et l'œil éprouve un plaisir incontestable à regarder cet ensemble.

Cette expérience synthétique prouve que l'équidistance à la vue est bien représentée par une progression arithmétique. Cette progression ne se rapporte nullement au mélange des matières qui ont servi à produire les deux extrêmes, mais uniquement au mélange des sensations excitées par la vue de ces mêmes extrêmes.

En prenant pour guide le disque rotatif, il est facile d'obtenir une dégradation régulière d'une couleur donnée; mais les teinturiers des Gobelins n'avaient pas ce guide; ils ont su arriver au même résultat, uniquement conduits par leur grande habitude de juger les couleurs : propriété remarquable de l'œil exercé, qu'il était bien intéressant de constater.

Résumé. — Ainsi, pour résumer, l'étude que j'ai faite des cercles chromatiques m'a permis de constater que ce que M. Chevreul a appelé l'*équidistance* entre couleurs est bien le résultat du mélange des sensations colorées, suivant une progression arithmétique. Il m'a été impossible de reconnaître la relation qui existe entre les tons d'une gamme quand la couleur est modifiée par le blanc; car la copie lithographiée ne contient aucun document utilisable pour cette étude. Nous savons que, à cause du phénomène de la perte de rouge, la seule gamme du rouge et aussi celle du noir auraient pu servir à cette étude; pour toutes les autres gammes, chaque ton a une autre complémentaire, et dès lors il n'y a plus entre eux aucune commune mesure.

V. — Analyse optique des noirs du commerce.

Il m'a paru intéressant de déterminer le rapport qui existe entre le noir absolu et les corps noirs du commerce. Ces derniers, renvoyant à l'œil une certaine quantité de lumière, paraissent d'un gris foncé, si on les place devant l'orifice noir qui a servi à mes expériences.

La quantité de lumière renvoyée par eux peut être aisément mesurée à l'aide du disque rotatif. On n'a qu'à faire tourner dans le plan de l'orifice des secteurs blancs d'un angle convenable, ou, ce qui est plus commode, des secteurs gris d'une valeur optique déterminée par une expérience préalable. La comparaison est facile si l'on fixe les tissus ou autres corps noirs, sur de petits disques en papier fort, que l'on place au centre de l'orifice. On cherche par tâtonnement l'angle du secteur gris qui produit la même sensation que la vue du corps noir.

Cet angle donne la mesure de la lumière blanche émise par lui. Il y a une circonstance qui introduit de l'incertitude dans cette mesure ; c'est la coloration des noirs du commerce. En effet, aucun n'est entièrement incolore. On est donc obligé d'employer, outre les secteurs gris, encore des secteurs colorés ; or ces secteurs envoient à l'œil non-seulement de la lumière colorée, mais aussi de la lumière blanche en proportion inconnue. Cette quantité est négligeable quand il s'agit de secteurs de 2° ou de 3° ; mais quand il en faut de plus grands, l'incertitude augmente.

Néanmoins, la comparaison des noirs entre eux est intéressante. Le tableau suivant donne les résultats obtenus pour quelques noirs que l'on peut considérer comme des types de fabrication.

Désignation.	Lumière blanche, lumière colorée, exprimées en degrés du cercle.		
Velours de soie noir	0°,75		
Drap de laine par teinture	7,3	Violet bleu	2°.
Drap de laine par impression	8,0	3ᵉ bleu	8°.
Noir sur soie ; faille de Lyon	8,4	3ᵉ bleu	8°.
» » moins belle	10,1	Violet bleu	6°.
Noir sur coton ; teinture en campêche.	10,8	Violet bleu	5°.
Noir d'aniline	10,0	Violet bleu	8°.
Noir de fumée	13,9	5ᵉ orangé	1°.

En comparant les données contenues dans ce tableau avec l'appréciation des connaisseurs au sujet des mêmes noirs, on reconnaît que l'*intensité* d'un noir est en raison inverse de la quantité de lumière blanche. La *beauté* du noir dépend de sa couleur. Le plus beau est le noir incolore ; le velours de soie en offre un exemple, il est aussi le plus intense.

La couleur qui nuit le moins au noir est le *bleu;* il est aussi la couleur la moins lumineuse du spectre. Plus la couleur devient lumineuse, plus elle nuit ; aussi les plus mauvais noirs sont ceux colorés en *jaune orangé*, dont le noir de fumée donne un exemple.

Le disque rotatif nous permet donc d'exprimer par des chiffres la valeur relative des noirs ; peut-être trouvera-t-on quelque intérêt à se laisser guider par ces indications.

SÉANCE DU 21 DÉCEMBRE 1877.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Bline (G.), sous-lieutenant au 95e régiment d'infanterie, à Dijon ; Marcel Deprez, ingénieur à Paris ; Francisco Estrada, recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique) ; Rousse, professeur au lycée de Saint-Étienne ; Valby, pharmacien à Dijon.

M. Duter présente à la Société des aimants obtenus en soumettant des plaques circulaires d'acier à l'action d'un électro-aimant terminé par une pointe conique appuyant au centre du disque.

M. Mascart présente l'appareil employé par M. Cailletet et construit par M. Ducretet, pour liquéfier le bioxyde d'azote.

Des plaques circulaires aimantées où les lignes isodynamiques sont des circonférences concentriques; par M. Duter.

Dans ce travail j'envisage des aimants, entièrement nouveaux, je crois, et où la distribution du magnétisme est incomparablement des plus simples. Ces aimants sont des disques circulaires pleins ou évidés en anneaux taillés dans des plaques d'acier de 1^{mm} d'épaisseur. Je vais immédiatement parler de leur formation.

I. *Aimantation des plaques circulaires, où les lignes isodynamiques sont des circonférences concentriques.* — Si l'on place, sur le pôle d'un électro-aimant très-puissant terminé en pointe et perpendiculairement à son axe, un disque circulaire mince (de 1^{mm} d'épaisseur, par exemple) et dont le centre est au pôle de l'électro-aimant, on constate qu'après la séparation de l'électro-aimant et du disque ce dernier reste aimanté. Si l'on y projette de la limaille de fer, de façon à former un fantôme magnétique, on constate que cette limaille se dispose en files dirigées suivant les rayons du disque. On constate, en promenant un rayon quelconque du disque devant un pôle d'aiguille aimantée, que le centre de la plaque est un pôle d'un certain nom (austral par exemple), que le magnétisme austral de la plaque diminue à mesure qu'on va du centre vers les bords jusqu'à devenir nul et qu'ensuite on ne trouve plus que du magnétisme boréal croissant jusqu'au bord.

Ainsi, dans un de mes disques, les deux magnétismes, austral et boréal, sont distribués de telle façon que l'un d'eux occupe une plage centrale et l'autre une plage marginale entourant la première.

Il n'est pas nécessaire, pour obtenir des effets semblables, que le disque soit plein; des anneaux plats terminés par deux cercles concentriques donnent une distribution analogue. Pour aimanter ces anneaux, il me suffit de les placer sur un électro-aimant très-puissant dont la tranche polaire s'adapte exactement au creux de l'anneau.

L'épreuve préliminaire faite avec l'aiguille aimantée et la limaille

de fer conduit encore à cette conséquence que les deux magnétismes occupent des régions concentriques, le maximum de l'un existant sur une des circonférences terminales et le maximum de l'autre sur l'autre circonférence terminale; enfin les lignes d'aimantation sont les rayons de l'anneau.

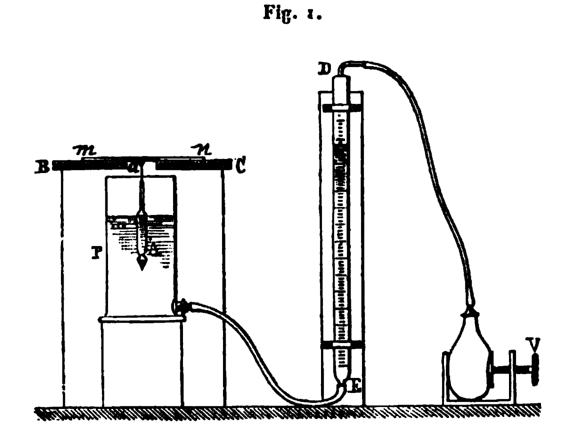
II. *Mesure du magnétisme libre.* — Pour mesurer le magnétisme libre répandu sur ces plaques, j'ai employé, comme je l'avais déjà fait dans un travail précédent, la méthode de l'arrachement: cette méthode est celle de M. Jamin, et elle a conduit l'illustre physicien aux résultats très-nombreux et très-importants que l'on sait.

Dans l'application de ce procédé, je me suis attaché à rendre le contact extrêmement petit, afin de ne pas altérer, par son approche, la distribution du magnétisme sur l'aimant à étudier; je l'ai fait en outre avec du fer parfaitement doux.

Pour cela, j'ai pris des cylindres de fer assez volumineux que j'ai mis dans de l'acide sulfurique étendu, jusqu'au moment où ils ont été réduits aux dimensions de très-petits grains de limaille. Pour mesurer les arrachements d'aussi petits contacts, j'ai eu recours à un artifice particulier.

Chaque petit grain de fer est fixe à l'extrémité *a* (*fig.* 1) du

Fig. 1.



canal d'un tube capillaire; ce tube capillaire termine lui-même un aréomètre cylindrique A flottant sur l'eau. Au-dessus de l'aréo-

mètre se trouve une table de bronze BC supportant la plaque aimantée *mn*. La table est percée d'un trou par où s'engage la pointe de l'aréomètre, de telle sorte que le fer puisse venir toucher la plaque.

Voici par quelles dispositions j'assure le contact : le vase cylindrique P communique avec l'extrémité inférieure E d'un tube gradué ED. L'extrémité supérieure D de ce tube communique avec une poire de caoutchouc hermétiquement fermée et qui peut être comprimée par le jeu d'une vis V.

Si l'on vient à tourner dans un sens convenable la vis V, on comprime l'air de la poire ; cet air fait remonter l'eau dans le vase P, et il arrive un moment où le contact vient toucher la plaque *mn*. L'instant précis de ce contact est donné par un signal électrique. Le point où l'eau s'arrête dans le tube ED est pris comme zéro. Si dans cette opération la plaque *mn* était aimantée, elle pourrait attirer le contact, et la détermination précédente serait fautive ; aussi ai-je eu soin d'opérer avec une plaque métallique non magnétique, et c'est quand le zéro est obtenu que je le remplace en *mn* par la plaque à étudier. Une graduation tracée sur la table supérieure en bronze permet d'amener au-dessous du contact tel point que l'on veut de la plaque aimantée. Enfin, si l'étude d'un aimant doit avoir une certaine durée, il faut rechercher le zéro du tube gradué de temps en temps, afin de se mettre à l'abri des erreurs dues à l'évaporation.

Quand on a ainsi assuré le contact, il est très-facile d'avoir la force d'arrachement. En effet, en détournant la vis V, on diminue la pression de l'air dans la poire, et l'eau du vase P s'écoule ; la poussée de cette eau sur le flotteur diminue d'une façon continue, et il arrive un moment où la perte de poussée de cette eau sur le flotteur est justement égale à la force qui relie le contact à l'aimant. La quantité d'eau écoulée dans le tube gradué est proportionnelle à cette force. Dans mon appareil la section du vase P vaut environ 101 fois celle du flotteur, de sorte que, pour 1^{gr} de force d'arrachement, il passe 100^{gr} ou 100^{cc} dans le tube gradué ; comme, en outre, ce tube est divisé en dixièmes de décimètre cube, on obtient très-facilement une approximation de 1^{mgr}. Les plus grandes forces mesurées avec cet appareil étaient de $0^{gr},2$. Je me suis servi dans mes mesures de trois petits contacts différents,

qui m'ont toujours donné au même point des nombres proportionnels.

Enfin rien de plus facile que de se mettre à l'abri de trépidations, en faisant reposer tout le système sur des feuilles de feutre.

III. *Loi de distribution du magnétisme libre sur les plaques circulaires à lignes isodynamiques concentriques.* — 1° Si les aimants sont des anneaux plats de même épaisseur, dont le rayon extérieur est R et le rayon intérieur r, la distribution du magnétisme sur un rayon quelconque est donnée par la formule

$$(1) \qquad M = A \sin \frac{\pi(R^2 + r^2 - 2x^2)}{2(R^2 - r^2)};$$

x est la distance au centre de la plaque du point où le magnétisme est M.

A est constant pour des anneaux de rayons différents, si ces anneaux ont été taillés dans la même feuille d'acier.

Il résulte de cette formule que la ligne où le magnétisme libre est nul est une circonférence dont le rayon est $\sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}}$. On voit que le magnétisme libre est le même en tous les points d'une circonférence, dont le centre coïncide avec celui de la plaque. Le magnétisme libre, répandu entre deux circonférences infiniment voisines, est

$$M\, 2\pi x\, dx,$$

et le magnétisme libre sur une étendue annulaire quelconque de la plaque est l'intégrale définie

$$(2) \qquad \int_{x_0}^{x_1} M\, 2\pi x\, dx,$$

les limites x_0 et x_1 de l'intégrale étant les rayons des circonférences qui bordent cette étendue.

Pour avoir tout le magnétisme libre d'un certain nom, par exemple celui qui est dans la zone intérieure de la plaque, il suffira de remplacer x_0 et x_1 par r et $\sqrt{\frac{R^2 + r^2}{2}}$; on trouve de la sorte,

pour l'intégration ainsi définie,

$$T = A(R^2 - r^2);$$

or A est constant : donc

Les totalités de magnétisme libre répandu sur les anneaux définis plus haut sont proportionnelles à leur surface. .

Il est inutile d'ajouter que, si l'on étend l'intégrale définie (α) à toute la plaque, on obtient zéro pour valeur de cette intégrale.

2° Si les aimants sont des disques pleins de rayons R, on obtient la formule

$$(2) \qquad M = A \frac{\sin \pi (R^2 - 2x^2)}{2R^2},$$

ou, ce qui revient au même,

$$(3) \qquad M = A \frac{\cos \pi x^2}{R^2};$$

cette formule (2) est un cas particulier de la formule (1), où $r = 0$.

Dans cette formule (1), A est constant, quel que soit R et, de plus, a la même valeur que pour les anneaux, si les anneaux et les disques ont été taillés dans la même feuille d'acier.

La formule (2) conduit aux mêmes conséquences que la formule (1), c'est-à-dire que la totalité T de magnétisme libre répandu sur un disque est donnée par la formule

$$T = AR^2,$$

c'est-à-dire qu'elle est proportionnelle à la surface de la plaque.

Les plaques sur lesquelles j'ai opéré étaient taillées dans une même feuille de 1^{mm} d'épaisseur, mais ont des rayons variables compris entre $2^c,5$ et $12^c,5$.

Je donne les tableaux relatifs à quatre disques; dans ces tableaux, D est la distance au centre, M est le magnétisme sur un point de rayon, et C est le magnétisme répandu sur toute une circonférence, dont le rayon est D; les nombres mesurés que je donne sont, pour chaque plaque, les moyennes obtenues en considérant quatre rayons.

Disque de rayon 12ᶜ,5.

D	R mesuré.	R calculé.	C
0	4,58	4,58	0
1	4,58	4,57	0,45
2	4,58	4,56	0,91
3	4,49	4,50	1,35
4	4,36	4,34	1,73
5	3,92	4,01	2,00
6	3,40	3,43	2,06
7	2,56	2,53	1,77
8	1,31	1,29	1,03
9	»	—0,25	—0,22
10	—1,88	—1,93	—1,93
11	—3,41	—3,46	—3,81
12	—4,44	—4,43	—5,32
12,5	—4,58	—4,58	—5,72

Disque de rayon 7ᶜ,5.

D	R mesuré.	R calculé.	C
0	4,55	4,58	0
1	4,55	4,57	0,45
2	4,40	4,46	0,89
3	4,00	4,01	1,20
4	2,80	2,86	1,14
5	»	0,79	0,39
6	—1,90	—1,95	—1,17
7	—4,17	—4,20	—2,94
7,5	—4,50	—4,58	—3,43

Disque de rayon 5ᶜ.

D	R mesuré.	R calculé.	C
0	4,54	4,58	0
1	4,52	4,54	0,45
2	3,94	4,01	0,80
3	1,98	1,95	0,48
4	—1,95	—1,95	—0,78
5	—4,50	—4,58	—2,29

Disque de rayon 2^c,5.

D	R mesuré.	R calculé.	C
0	4,51	4,58	0
1	4,07	4,01	0,40
2	−1,90	−1,95	−0,39
2,5	−4,50	−4,58	−1,14

IV. *Conclusion.* — On sait que, dans la théorie mathématique, Poisson a cherché à faire entrer dans ses formules de distribution du magnétisme une constante caractéristique des propriétés magnétiques du corps étudié; cette constante, qu'il nommait la *constante magnétique,* était le moment magnétique de l'élément de volume, soumis à l'influence de l'unité de force. Mais les expériences les plus nombreuses et les plus variées, faites depuis les travaux de Poisson, montrent que la quantité que Coulomb nomme *constante magnétique* est essentiellement variable : on la nomme aujourd'hui *fonction magnétisante,* et son étude est une des plus importantes et des plus intéressantes qu'offre le magnétisme.

Dans les aimants dont je m'occupe, j'ai réussi à caractériser les propriétés magnétiques de l'acier par une seule constante; mais c'est en leur donnant la même épaisseur et la forme simple que l'on a vue plus haut, telle que la symétrie existe par rapport à un point. J'ajouterai enfin que la forme que je donne aux aimants me fournit une vérification de ma méthode de mesure, puisque j'obtiens les mêmes quantités de magnétisme austral et de magnétisme boréal, bien que ces deux magnétismes soient distribués sur deux plages qui ne sont pas superposables, comme dans le cas des aimants ordinaires, longs et étroits, où la forme est telle que, quelle que soit la méthode de mesure, on trouve nécessairement des quantités égales des deux magnétismes.

Liquéfaction des gaz; par M. Brillouin.

Les expériences récentes de M. Cailletet ont rappelé l'attention sur le problème de la liquéfaction des gaz. Il n'est pas sans intérêt de retracer comment le nombre des gaz non liquéfiés fut promptement réduit à six, comment l'étude des liquides produits a conduit à de nouveaux essais, et de faire connaître les derniers résultats obtenus.

I. *Historique*. — Les premières expériences systématiques de liquéfaction des gaz sont dues à Faraday (1). Il produisait le gaz dans une branche d'un tube de verre en forme de V renversé, fermé à la lampe, et l'obtenait liquide dans l'autre branche refroidie. Les acides sulfureux, sulfhydrique, carbonique, hypochlorique, chlorhydrique, le protoxyde d'azote, le cyanogène, le chlore, le gaz ammoniac furent ainsi liquéfiés.

En appliquant la même méthode, avec des appareils de plus grandes dimensions, Thilorier (2) a liquéfié et même solidifié l'acide carbonique; Natterer (3) solidifia le protoxyde d'azote en le comprimant dans un réservoir par une simple action mécanique.

Faraday (4), frappé des observations de Cagniard de Latour sur la température de volatilisation totale, sentit la nécessité de refroidir le gaz au-dessous de cette température. Dans la nouvelle série de recherches qu'il entreprit alors, le gaz pouvait être comprimé jusqu'à 50^{atm}, et refroidi en même temps à $-110°$ C., par évaporation dans le vide du mélange d'acide carbonique solide et d'éther. Il liquéfia ainsi le gaz oléfiant, les acides fluoborique et fluosilicique, l'hydrogène phosphoré, l'hydrogène arsénié (déjà liquéfié par MM. Dumas et Soubeyran). Il solidifia les acides bromhydrique et iodhydrique, mais non l'acide chlorhydrique; les acides sulfureux, sulfhydrique, carbonique, hypochlorique, le protoxyde d'azote, le cyanogène et le gaz ammoniac. L'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le bioxyde d'azote,

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIV, p. 403; 1823.
(2) *L'Institut*, t. II; 1834. — *Annales de Chimie et de Physique*, t. LX, p. 427; 1835.
(3) *Ann. de Pogg.*, t. LXII, p. 132; 1844.
(4) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIII et XV, p. 257; 1845.

l'oxyde de carbone et le gaz d'éclairage ne purent être liquéfiés.

M. Berthelot ([1]) reprit ces expériences en enfermant le gaz dans la partie supérieure d'un thermomètre à mercure ou à acide sulfurique, à parois très-résistantes. La pression exercée par le liquide chauffé pouvait atteindre jusqu'à 800^{atm}, lors de la rupture du tube. Les liquéfactions déjà connues s'obtinrent facilement, en refroidissant, par de la glace ou par évaporation de l'éther, la partie du tube qui contenait le gaz ; mais aucun des gaz dits *permanents* ne put être liquéfié dans ces circonstances.

Natterer ([2]) soumit ces mêmes gaz à des pressions qu'il évalue à 1354^{atm} pour l'oxygène, et 2790^{atm} pour les autres, sans pouvoir les liquéfier.

M. Andrews ([3]), en combinant l'action du mélange réfrigérant de Faraday et de pressions plus grandes, vit ces mêmes gaz conserver leur état, quand le volume était réduit à une fraction de volume initial :

Pour	l'air	$\frac{1}{675}$
»	l'oxygène........................	$\frac{1}{554}$
»	l'hydrogène........................	$\frac{1}{500}$
»	l'oxyde de carbone..............	$\frac{1}{278}$
»	le bioxyde d'azote..............	$\frac{1}{680}$

M. Melsens ([4]) a utilisé l'absorption des gaz par le charbon, et leur dégagement par élévation de la température, pour liquéfier facilement, dans un appareil de Faraday, l'acide sulfureux, le chlore, l'éther chlorhydrique, le cyanogène, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque et l'acide iodhydrique.

Les liquides et les gaz dans le voisinage du changement d'état présentent des propriétés physiques singulières et tout à fait inattendues. Dès 1822, Cagniard de Latour ([5]) a constaté qu'un liquide (l'alcool, l'éther, le sulfure de carbone, l'eau) peut se transformer totalement en vapeur, dans un espace peu supérieur à celui qu'il occupait. Par exemple, sous une pression de 37^{atm},

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXX ; 1850.

([2]) *Annales de Pogg.*, t. XCIV ; 1854.

([3]) *Report of British. Assoc.*, 1861.

([4]) *Journal de Physique*, t. III, p. 27. Dans l'article cité ici, l'acide cyanhydrique est indiqué à tort au lieu de l'acide iodhydrique.

([5]) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXI et XXII.

l'éther se vaporise totalement dans un volume triple de son volume initial, dans un volume sextuple sous la pression de 42^{atm} ; c'est d'ailleurs à la même température de 150° R. que la transformation a lieu dans les deux cas.

La dilatation du liquide avant la vaporisation est considérable : l'alcool double de volume. La vapeur elle-même a un coefficient de dilatation énorme. Thilorier (1) a retrouvé des propriétés analogues dans l'acide carbonique liquide qui, de zéro à + 30°, se dilate 4 fois plus que les gaz permanents.

Cette observation de Thilorier avait laissé des doutes, mais Drion (2), en étendant ses recherches à trois corps de nature chimique très-différente, l'éther chlorhydrique, l'acide sulfureux et l'acide hypoazotique, a constaté l'accroissement rapide du coefficient de dilatation dans le voisinage du point de volatilisation totale. Les expériences n'ont pu donner que le coefficient de dilatation apparente, évidemment inférieur au coefficient absolu, tant à cause de l'évaporation que de la compressibilité du liquide et du réservoir. Ainsi, l'acide sulfureux à 130°, c'est-à-dire à une température inférieure de 10° à celle de la volatilisation totale, a un coefficient de dilatation presque triple de celui des gaz.

II. *Du point critique.* — Les idées émises par Cagniard de Latour sur la température de volatilisation totale ont été précisées dans un Mémoire de M. Andrews (3) sur la continuité des deux états liquide et gazeux. Les expériences ont porté sur l'acide carbonique, le protoxyde d'azote, l'acide chlorhydrique, le gaz ammoniac, l'éther sulfurique et le sulfure de carbone. C'est de l'acide carbonique, étudié par lui avec le plus grand soin, qu'il sera seulement question ici. L'éprouvette en verre qui contient le gaz est formée de deux parties, un grand réservoir ouvert à sa partie inférieure et un tube capillaire à parois très-épaisses soudé au réservoir et fermé à la partie supérieure. Elle est renversée dans un cylindre d'acier formant cuve à mercure, et assujettie par un fort écrou, que traverse seul le tube capillaire. La pression s'exerce par l'intermédiaire du mercure. Le tube capillaire peut être maintenu à telle température que l'on veut par un bain liquide.

---

(1) *Loc. cit.*

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 1859.

(3) *Philos. Trans.*, t. II, p. 575; 1869.

On saisit facilement les résultats de ces expériences, à la seule inspection des lignes isothermes tracées en prenant pour variables indépendantes le volume v et la pression p d'un kilogramme du corps.

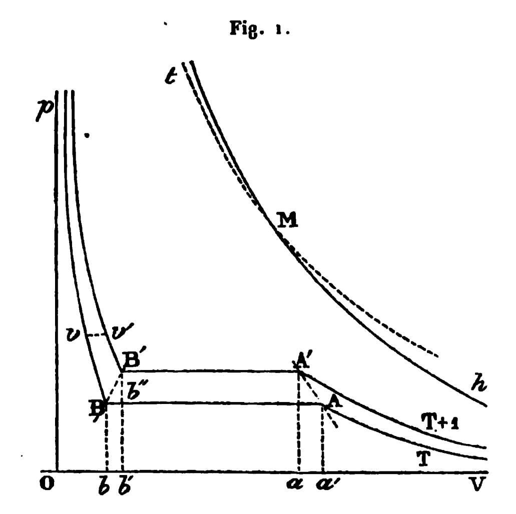
Pour les gaz parfaits, qui suivent les lois de Mariotte et Gay-Lussac, on a

$$pv = \alpha p_0 v_0 T,$$

T étant la température absolue;
α le coefficient de dilatation des gaz;
p_0, v_0 la pression et le volume du gaz à la température absolue $\frac{1}{\alpha}$ de la glace fondante.

Pour une température donnée T, la courbe des états du gaz est une hyperbole équilatère ayant les deux axes pour asymptotes. La grandeur du demi-axe est $\sqrt{2\alpha p_0 v_0 T}$.

Fig. 1.



Pour les gaz facilement liquéfiables, l'expérience montre que la compressibilité est plus grande que ne l'indique la loi de Mariotte: si donc on prend le corps à un état déterminé M (*fig.* 1), et qu'on trace l'hyperbole correspondante h, tous les points de la courbe pour lesquels le volume est moindre seront à gauche de l'hyperbole, les autres au-dessus. La forme sera celle de la courbe t tracée en traits discontinus; elle sera tout entière à gauche et au-dessous de

l'hyperbole, de même température, déduite de la loi de Mariotte.

S'il s'agit d'une vapeur que l'on comprime à température constante, son état est d'abord représenté par une courbe TA (*fig.* 1) analogue à la courbe *t*; puis, la tension maxima pour cette température une fois atteinte, la liquéfaction commence sans changement de pression, et, tant qu'elle dure, l'état du corps est représenté par une horizontale AB. Cette horizontale correspond à l'existence simultanée du liquide et de la vapeur. Quand tout est devenu liquide, la compressibilité est très-faible, et la courbe remonte presque parallèlement à l'axe O*p*.

Pour les liquides ordinaires, le volume O*b* est une fraction si petite de O*a* qu'on ne pourrait pas le représenter sur la figure. Mais, au voisinage du point de volatilisation totale, les expériences de Cagniard de Latour montrent que O*b* peut être jusqu'à $\frac{1}{2}$ et jusqu'aux $\frac{4}{5}$ de O*a*. Quand la température s'élève, O*a* diminue, O*b* augmente, et la courbe des points A est la courbe des tensions maxima de la vapeur.

Traçons, par exemple, les deux courbes isothermes pour T et T + 1. La petite horizontale vv' est la dilatation du liquide de T à T + 1, sous la pression constante *p*. La droite bb' est la dilatation du liquide de T à T + 1, lorsque la pression est constamment égale à la tension maxima; c'est ce qu'on mesure (à la compressibilité près des enveloppes) pour les gaz liquéfiés; et les expériences montrent qu'elle croît très-vite avec la température, et devient bien plus grande (trois et quatre fois) que la dilatation des gaz permanents.

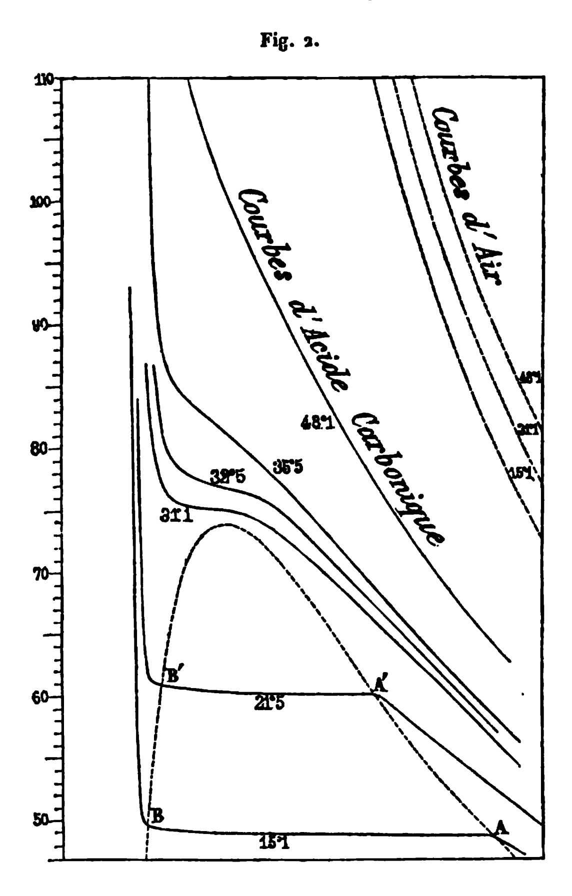
Les expériences de Regnault (¹) sur les tensions des vapeurs saturées d'un grand nombre de corps montrent que l'accroissement de tension maxima pour une élévation de température de 1°, c'est-à-dire la distance verticale $B'b''$ des deux droites AB et $A'B'$, va diminuant quand la température s'élève; cette diminution était particulièrement rapide pour l'acide carbonique, de 25° à 28°, la tension paraissant tendre vers un maximum peu éloigné.

Ainsi, pour ces deux causes, si l'on trace la courbe des points BB' (dont on ne voit qu'un élément sur la figure), l'expérience in-

(¹) *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XXVI, p. 626.

dique qu'elle devient très-concave vers l'axe des volumes. La tension maxima tendant vers un maximum quand la température augmente, la courbe des points AA' sera aussi très-concave vers l'axe Ov. Ces deux courbes doivent se rejoindre, comme deux bran-

Fig. 2.



ches d'une seule et même courbe AA'B'B (*fig.* 2), dont l'ordonnée maximum correspondrait à la température de volatilisation totale. C'est ce qui a lieu, d'après les expériences de M. Andrews.

En comprimant simultanément, dans deux appareils identiques, de l'acide carbonique et de l'air, et en admettant que la pression soit sensiblement l'inverse du volume de l'air, M. Andrews a pu déterminer par points plusieurs courbes isothermes de l'acide carbonique représentées dans la *fig.* 2, où les ordonnées sont expri-

mées en atmosphères à partir de 47^{atm}. A mesure que la température est plus élevée, la longueur de la partie horizontale de cette courbe diminue, la distinction des deux branches, liquide et vapeur, devient plus difficile ; vers 30°,9, il y a vaporisation totale. Un faible changement de température produit des espèces de stries, comme lorsqu'on mêle des gaz à différentes températures. La courbe n'a plus de partie horizontale du tout. C'est là le *point critique*. Pour des températures un peu plus élevées, la courbe isotherme présente encore un changement de convexité, mais n'a plus de tangente horizontale. Enfin, à 48°, la convexité reste toujours de même sens, et la courbe n'a pas de point d'inflexion.

Ainsi la courbe qui relie les extrémités des parties horizontales se ferme vers le haut; un corps ne peut être en partie gazeux en partie liquide que si son état est représenté par un point situé à l'intérieur de la région ainsi limitée. On peut passer de l'état gazeux à l'état liquide en suivant une courbe qui traverse cette région ; les deux états existant simultanément pendant quelque temps, le changement sera visible. Mais, si l'on suit une série d'états qui ne rencontrent pas cette région, il sera impossible de s'apercevoir du changement; par exemple, M. Andrews a pris de l'acide carbonique gazeux, l'a chauffé vers 50°, et comprimé à 150^{atm}. En le laissant ensuite refroidir au-dessous du point critique, on n'a pu reconnaître à aucun moment le moindre changement physique dans la masse. Cependant le gaz est devenu liquide ; car si l'on diminue la pression, on le voit entrer en ébullition.

Ainsi cette courbe limite une région dans laquelle le passage de l'état liquide à l'état gazeux se fait avec changement brusque des propriétés physiques, où le changement est visible, et les deux états distincts.

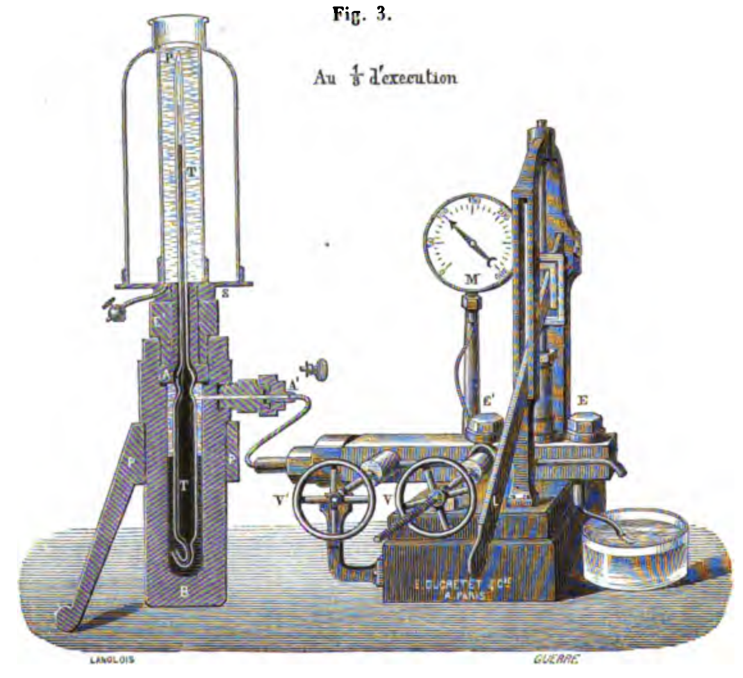
III. *Expériences de M. Cailletet.* — M. Cailletet (¹) a entrepris une nouvelle série d'expériences. L'appareil est tout à fait semblable à celui de M. Andrews. La pression est produite par une presse hydraulique (*fig.* 3). Le gaz pur et sec est introduit dans l'éprouvette PT, placée d'abord horizontale, par le tube de caoutchouc H (*fig.* 4) ; quand l'éprouvette est pleine, on la redresse (*fig.* 3), et la goutte de mercure G, en descendant, isole le gaz de l'intérieur. La

(¹) *Comptes rendus*, novembre et décembre 1877.

figure montre l'éprouvette fixée, par un gros écrou de bronze A, à la cuve de fonte B qui communique avec la presse hydraulique par le tube latéral A'. Dans cet appareil, l'acétylène a été d'abord liquéfié par simple pression. La transformation s'opère encore à 31°; le point critique est donc supérieur à cette température. Pour le bioxyde d'azote, la liquéfaction qu'on n'obtient pas à + 8° se réalise à — 11°, ce qui place son point critique dans le voisinage du zéro. Mais, si on laisse détendre à + 8° le bioxyde d'azote comprimé, le tube se remplit pendant un instant de brouillard. Cette observation a conduit M. Cailletet à une méthode simple et élégante

Fig. 3.

Au $\frac{1}{8}$ d'exécution

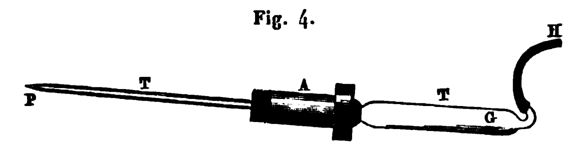


pour montrer la liquéfaction des gaz. Son succès tient au refroidissement considérable du gaz pendant la détente, qui abaisse la température bien au-dessous du point critique. Après avoir comprimé le gaz jusqu'à 250 ou 300^{atm}, on attend quelques instants, pour que l'échauffement dû à la compression ait disparu, puis on ouvre un robinet à vis V' (*fig.* 3), que porte la presse hydraulique; le gaz chasse brusquement l'excès de liquide, et sa pression tombe à 1^{atm}.

Pour nous faire une idée du refroidissement que l'on obtient

ainsi, déterminons l'abaissement de température qui aurait lieu pour un gaz parfait. Supposons que la détente se fasse sans perte

Fig. 4.



ni gain de chaleur, et que la loi de Poisson reste applicable, hypothèse évidemment inexacte dans le cas qui nous occupe, puisque le gaz se liquéfie; on aura

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}},$$

γ étant le rapport des deux chaleurs spécifiques, à pression et à volume constants;

T_1, T_2, p_1, p_2, les températures absolues et les pressions au début et à la fin.

Soient, par exemple,

$$T_1 = 273^\circ \text{ glace fondante};$$
$$p_1 = 300^{\text{atm}};$$
$$p_2 = 1^{\text{atm}};$$
$$T_2 = 273\left(\frac{1}{300}\right)^{\frac{0,42}{1,42}} = 49^\circ,3,$$

c'est-à-dire 233° au-dessous de la glace fondante. On peut bien admettre que si le gaz ne se liquéfie pas, sa température baissera vers 200°. Il est même à remarquer qu'un grand accroissement de la pression initiale n'augmente pas beaucoup le refroidissement. Ainsi, en partant de 2800^{atm}, que Natterer dit avoir obtenues, et de la glace fondante, la température finale, en supposant la loi de Poisson applicable, serait — 250°.

Par cette nouvelle méthode, M. Cailletet a observé un brouillard tout semblable à celui du bioxyde d'azote, avec le formène, l'oxyde de carbone et l'oxygène, pour une pression initiale de 300^{atm}. Dans les mêmes conditions, la détente n'a nullement altéré la transparence des deux derniers gaz permanents, l'azote et l'hydrogène.

ALLOCUTION DE M. ED. BECQUEREL

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ.

(SÉANCE DU 4 JANVIER 1878.)

M. le Président, avant de quitter le fauteuil, dit quelques mots des pertes regrettables que la Société a faites, pendant l'année 1877, de deux de ses membres, MM. Cazin et Ruhmkorff.

M. Cazin, professeur au lycée Fontanes et secrétaire de la Société, a succombé dans la force de l'âge, et ses travaux importants sur la chaleur, l'électricité, le magnétisme et l'optique lui avaient assigné un rang distingué parmi les physiciens les plus laborieux. De concert avec M. Lucas, il est l'auteur de recherches très-intéressantes sur la durée des étincelles électriques, recherches qui ont reçu l'approbation de l'Académie des Sciences ; il a fait partie de l'expédition scientifique à l'île Saint-Paul, pour l'observation du passage de Vénus devant le Soleil et s'est livré, avec un soin extrême, à la reproduction des épreuves photographiques représentant les phases du phénomène ; les fatigues qu'il a éprouvées, lors de cette expédition, lui ont peut-être donné le germe de la maladie qui l'a emporté.

Tous les physiciens connaissaient M. Ruhmkorff, dont le nom restera attaché à l'appareil de Physique (la bobine de Ruhmkorff) qui depuis vingt-cinq ans a peut-être le plus attiré l'attention du monde savant. La santé de M. Ruhmkorff ne lui permettait pas de venir souvent à nos séances, mais il s'informait de tout ce qui s'y passait, et l'annonce d'une découverte nouvelle, d'une expérience intéressante lui causait toujours un plaisir extrême. On sait la libéralité avec laquelle il s'est toujours mis à la disposition des

expérimentateurs et leur a prêté le secours de ses ateliers pour les expériences qu'ils ont voulu faire ; aussi je pense être l'interprète de tous les membres de la Société de Physique, en exprimant les regrets sincères que leur cause la perte de ce grand artiste, de cet éminent constructeur qui aimait si profondément la science.

Dans le cours de l'année 1877 la Société a étendu ses relations et a échangé ses publications avec les Sociétés Royale de Londres, de Physique de Londres, de Physique de Saint-Pétersbourg, de l'Observatoire romain, de la Société des Ingénieurs-télégraphistes, et diverses Sociétés françaises. Elle a acquis la collection complète des *Fortschritte der Physik* depuis 1845, formant plus de trente volumes.

Le Président signale aussi l'accroissement continu du nombre des membres de la Société, il espère que son successeur aura également à constater l'année prochaine un semblable développement, et il exprime le vœu que la Société puisse être reconnue comme établissement d'utilité publique.

CATALOGUE

DE LA

BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1874 à 1877), in-4°.

Annales de Physique et de Chimie (1873 à 1877), in-8°.

Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1873 à 1876), in-4°.

Annales télégraphiques (3e série, 1874 à 1877), in-8°.

Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (1874 à 1877), in-4°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1877), in-8°.

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1876), in-8°.

Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1873 à 1878), in-18.

L'Aéronaute (juillet 1877 à février 1878), in-8°.

Société de Biologie (1869 à 1872), in-8°.

Annuaire de la Société d'Encouragement (1877).

Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1874 à 1876), in-4°.

Proceeding's of the Royal Society (t. XXIII, nos 156 à 159; t. XXIV à XXVI, nos 164 à 183, 24 liv.), in-8°.

Philosophical Magazine (1873 à 1877), in-8°.

Annales de Poggendorff (1873 à 1877), in-8°.

Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (1875, depuis le n° 5, à 1877), in-8°.

Journal of the Society of Telegraph Engineers (1872 à 1877), in-8°.

Société de Physique de Londres, (novembre 1875 à Jnin 1877), in-8°.

Fortschritten der Physik (1845 à 1873, t. I à XXIX), in-8°, table des t. I à XX.

Bulletin de l'Observatoire Romain. nos 1 à 9 (1877), in-4°.

Rivistà scientifico-industriale, compilata per M. *G. Vimercati*, anno V (janvier à mai 1873).

Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. *Henri de Senarmont*, *Émile Verdet* et *Léonor Fresnel*, 3 vol. in-4°, 1861.

Œuvres de E. Verdet, publiées par les soins de ses élèves, 9 vol. in-4°, 1869.

Notice sur Flachat; par M. *Malo*, 1 vol. in-8°.

Discours aux funérailles de M. Regnault; par M. *Jamin* (extr. des *Compt. rendus*).

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation (extrait des *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers*); par M. le Général *Morin*, in-8°.

Commission internationale du mètre. Procès-verbaux et Séances (1869-1874), 9 broch. in-8°.

Congrès international des sciences géographiques; 2e session (Paris 1875); Origine et historique du Congrès, broch. in-8°.

Étude sur le mécanisme et la marche des chronomètres; par M. *E. Caspari*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'élasticité des gaz; par M. *Mendeleeff* (russe, 1875), in-4°.

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau*.

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur (extrait des *Comptes rendus* et des *Mondes*); par M. *F. de Romilly*, br. in-8°.

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi leggieri; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di meccanica molecolare; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Statistique des volumes des équivalents chimiques et d'autres données relatives à leurs propriétés physiques. — Mémoire sur quelques questions moléculaires; par M. *G. West*, 1 vol. in-4°.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Notice sur le gazhydromètre Maumené; par M. *Maumené*, br. in-4°.

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Ricerche fisico-chimiche sui differenti stati allotropoci dell'idrogeno; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Intorno ad un nuovo apparato per la trasmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell'acqua; par M. *Antonio Favaro*, br. in-8°.

Notes chimiques et chimico-physiques; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Recherches sur la capillarité dynamique; par M. *Decharme*, 3 br. in-8°.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules; par M. *G. West*, br. in-4°.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer; par M. *Decharme*, br. in-8°.

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*, in-4°.

Conductibilité de la chaleur dans les minéraux; par M. *Ed. Jannettaz*, in-8°.

Question température (concours 1872); par M. *Melsens*.

La chaleur solaire et ses applications industrielles; par M. *Mouchot*, 1 vol. in-8°.

Etude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope; par M. *J. Salleron*, br. in-8°.

Le moteur hydrothermique; par M. *F. Tommasi*, br. in-8°.

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Application du courant électrique aux recherches de l'état sphéroïdal (en russe); par M. *Heschus*, br. in-8°.

Il termometro e il barometro della Loggia dell'orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Il termometro della Loggia dell'orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Barometro a peso manometro regolatore e fornello a petrolio; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari; par M. *G. Vimercati*, br. in-8°.

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme*.

Sur les vibrations tranversales des fils et des lames d'une faible épaisseur (extrait des *Annales de l'École Normale*); par M. *Gripon*, br. in-8°.

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *Gripon*, br. in-4°.

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *M. Neyreneuf*, in-8°.

Étude théorique et expérimentale sur les plaques et membranes de forme elliptique; par M. *A. Barthélemy*, br. in-8°.

Le son et la musique, *suivi* des causes physiologiques de l'harmonie musicale, de M. *H. Helmholtz*, par M. *P. Blaserna*, 1 vol. in-8° relié.

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*, in-8°.

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*, br. in-4°.

Note sur un système d'appareils électro-sémaphoriques (Block-system); par MM. *Lartigue, Tesse* et *Prud'homme*, br. in-4°.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (thèse); par M. *Mouton*, in-4°.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel*, br. in-8°.

Notice sur le coup de foudre de la gare d'Anvers du 10 juillet 1865; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Quatrième Note sur les paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

De l'application du rhé-électromètre aux paratonnerres des télégraphes; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples (Bruxelles, 1877) ; par M. *Melsens*, 1 vol. in-8.

Note sur un appareil de M. Melsens dit *rhé-électromètre ;* par M. *Hervé-Mangon*, br. in-4°.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*, 1 vol. in-8°, relié.

Conférence à propos de la pose du câble de Barcelone ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Construction des câbles ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Télégraphie Duplex ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Transmission des signaux par les câbles ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Le siphon enregistreur de sir W. Thomson ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Réparations des câbles sous-marins ; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Sur la déperdition de l'électricité dans les gaz, par M. *Bobileff* (en russe). br. in-8.

Sur la déperdition de l'électricité sur les conducteurs composés de parties différentes (en russe) ; par M. *Bobileff*, br. in-8.

Résistance galvanique des charbons sous diverses températures (en russe) ; par M. *Bergman*, br. in-8°.

Machina dielettrica ; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sopra la ripostà del sig. prof. Giovani Cantoni all'osservazioni fatte al suo lavoro sull'elettroforo e la polarizzazione elettrostatica ; par M. *Alberto de Eccher*, br. in-8°.

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés, par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Sui rapporti della pioggia con le pierre dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Filicie Matteucci ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente ; par M. *Glisenti*, br. in-8°.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle ; par M. *Grisenti*, br. in-8°.

Expériences pratiques de la boussole circulaire faites à bord des navires de l'État et de la marine marchande (6e, 7e et 8e édit.) ; par M. *Duchemin*, 3 br. in-4°.

Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire en 1874 ; par M. *Crova*, br. in-4°.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique ; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Rapport sur la construction des appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault et en particulier sur une balance à marteau automatique de M. Deleuil ; par M. *Le Blanc* (*Félix*), br. in-4°.

Détermination de la vitesse de la lumière d'après les expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Montlhéry ; par M. *Cornu*, 1 vol. in-4°.

Recherches sur la persistance des actions sur la rétine ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Les prismes polarisateurs (en russe) ; par M. *Bobileff*, br. in-4°.

Les spectres de la chlorophylle ; par M. *Chautard*, br. in-8°.

Una Lettra inedita del principe Leopoldo de Medici; par M. *Govi.*

Di alcune nuove camere lucide; par M. *Govi*, br. in-4°.

Intorno agli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi.*

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi.*

Météorologie nautique; vents et courants (1874); par MM. *Ploix* et *Caspari*, br. in-4°.

Température et composition des eaux de la Méditerranée; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-18.

Sulla pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Prodromo di un catalogo fisico delle stelle colorate; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Sulla supposta origine cosmica delle aurore polari; par M. *Govi*, opusc. in-18.

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1877.

Lampe d'émailleur; donnée par M. *Wiesnegg*.
Gazomètre en cuivre; donné par M. *Wiesnegg*.
Rhé-électromètre; donné par M. *Melsens*.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

44, RUE DE RENNES, 44.

(1878.)

BUREAU.

MM. Blavier, *Président.*
Berthelot, *Vice-Président.*
D'Almeida, *Secrétaire général.*
Mouton, *Secrétaire.*
Bouty, *Vice-Secrétaire.*
Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. Berthelot, 1876.
Bertin.
Fizeau.
Du Moncel.

D'Arlincourt, 1877.
Fernet.
Marey.
Marié-Davy.

Becquerel (Ed.), 1878.
Cavaillé-Coll.
Joubert.
Mascart.

Membres non-résidants :

MM. Andrews (Belfast), 1876.
Duclaux (Lyon).
Govi (Turin).
Gripon (Rennes).

Crova (Montpellier), 1877.
Secchi (Rome).
Spottiswoode (Londres).
Terquem (Lille).

Abria (Bordeaux), 1878.
Cailletet (Châtillon-sur-Seine).
Lissajous (Besançon).
Warren de la Rue (Londres).

MEMBRES HONORAIRES.

Billet, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
Broch (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania.
Fizeau (A.-H.-L.), Membre de l'Institut.
Joule (J.-P.), de Manchester.
Le P. A. Secchi, Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
Sir William Thomson, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.

MEMBRES A VIE (¹).

MM. PUYFONTAINE (COMTE DE), 45, boulevard des Batignolles.
D'ALMEIDA, Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
WARREN DE LA RUE, 7, Portland place, Londres, W.
BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
MASCART, Professeur au Collége de France, 15, rue Malebranche.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.
SALET, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boul. Saint-Germain.
SPOTTISWOODE (W.), Vice-Président de la Société royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.
FONTAINE (Hippolyte), 52, rue Saint-Georges.
DUCLOS, Inspecteur de l'Enseignement primaire, à Saint-Girons.
BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes.
HUGO (Comte Léopold).

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).
ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALMEIDA (d'), Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
ANDREWS, Queen's College, Belfast (Irlande).
ANGOT, Professeur au Lycée Fontanes, 9, rue Berthollet.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 102, rue Neuve-des-Mathurins.
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
AUBOUY, Professeur au Collége de Pézénas.
AUBRY, Professeur au Collége d'Avallon.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.
BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Neuve-Fontaine Saint-Georges.

(¹) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, Art. IV, dernier paragraphe.)

MM.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.
BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.
BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.
BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, Charenton.
BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BECQUEREL (Henri), Élève des Ponts et Chaussées, 10, rue Gay-Lussac.
BEDOS, Professeur au Lycée de Montpellier.
BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne).
BENEVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).
BENOIT, Docteur ès sciences, 4, passage des Eaux, à Passy.
BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.
BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 54, rue Madame.
BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
BERTHEREAU (Édouard), Préfet de la Haute-Saône.
BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.
BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.
BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 9, rue des Saints-Pères.
BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.
BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.
BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.
BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
BISCHOFFSHEIM (Raphaël-Louis), 34, rue Neuve-des-Mathurins.
BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
BLINE (Gaston), Sous-lieutenant d'Infanterie, au 95e de ligne, à Bourges.
BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, 15, rue Guy-de-la-Brosse.
BOBILEFF, Docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg.
BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.
BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'Administration genérale des lignes télégraphiques.
BORDET (Lucien), ancien Élève de l'École Polytechnique, 121, b. Haussmann.
BORGMAN, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de St-Pétersbourg.
BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.
BOUDRÉAUX, Préparateur à la Faculté des Sciences, 100 rue Monge.
BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.
BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 42, rue Lhomond.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURGET, Directeur des Études à Sainte-Barbe, rue de Reims.
BOUTAN, Inspecteur général de l'Université, 4, rue de l'Odéon.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.
BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.
BRANLY, Professeur à l'Université catholique, 49, rue Gay-Lussac.

MM.

BRÉGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BRÉGUET (Ant.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue de Savoie.
BRILLOUIN, Préparateur-agrégé au Collége de France.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 21, rue de Turin.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.
BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue d'Enfer.
BROCH (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania, Norwége.
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABANELLAS (G.), Lieutenant de Vaisseau, 72, rue de Longchamps, à Saint-James (Seine).
CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CADIAT, 24, rue Meslay.
CAEL, Inspecteur des Télégraphes, à Lille.
CAILLETET, Correspondant de l'Institut, Châtillon-sur-Seine.
CAQUÉ, Professeur au Lycée Saint-Louis, 83, rue Notre-Dame-des-Champs.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CHABRERIE, Professeur au Collége de Brives.
CARLES, Directeur des ateliers de l'Administration des Lignes télégraphiques, 173, rue de Vaugirard.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.
CHARLON, Directeur de la *Confiance*, 2, rue Favart.
CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.
CIVIALE (A.), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CLERAC, Sous-Inspr des Lignes télégraphiques, 103, rue Grenelle-St-Germain.
COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, 38, rue des Écoles.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, Directeur de la Manufacture des Tabacs, 63, quai d'Orsay.
COUVREUS, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.
CROIX, Professeur au Collége, 18, Grande Rue, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DAGUENET, Professeur au Lycée de Laval, 34, rue de Nantes.
DALMAN, Ingénieur, 9, Rembla del Centro, à Barcelone (Espagne).
DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DECLERC, Professeur au Collége de Langres (Haute-Marne).

MM.

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.
DELESTRÉE, Professeur au Lycée de Lorient.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée d'Orléans, 4, rue Jeanne d'Arc.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DENAYROUZE (L.), ancien élève de l'École Polytechnique, 3, boulevard Voltaire.
DEPREZ (Marcel), Ingénieur, 16, rue Cassini.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boul. Saint-Michel.
DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 232, rue de Rivoli.
DESPRATS, Professeur au Collége de Poligny (Jura).
DOULIOT, Principal du Collége de Langres.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
DUCLOS, Inspecteur de l'enseignement primaire, à Saint-Girons.
DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 89, rue des Feuillantines.
DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, rue de Vaugirard.
DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.
DUTER, attaché au Laboratoire des hautes études à la Sorbonne.

EGOROFF (Nicolas), au Cab^t de Phys^e de l'Université, St-Pétersbourg (Russie).
ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville, 41, rue des Teinturiers.
ESTRADA (Francisco), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FAVÉ, élève Ingénieur hydrographe, 108, rue du Bac.
FAYE, Membre de l'Institut, 9, chaussée de la Muette, Passy-Paris.
FERNET, Inspecteur Général de l'Université, 93, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FLEETWOOD LAWTON (George), Électricien de l'Eastern Telegraph, 8, rue du Pavé-d'Amour, à Marseille.
FONTAINE (Hippolyte), 52, rue Saint-Georges.
FONTBONNE (l'abbé), aumônier de l'hôpital militaire de Bône (Algérie).
FOURNIER (Félix), 115, rue de l'Université.
FRIDBLATT (A.), Contrôleur du Télégraphe, à Chaumont (Haute-Marne).
FRIEDEL, Conservateur à l'École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 127, boulevard Saint-Michel.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARBE, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.
GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

MM.

GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.
GARZA (Pedro), Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).
GAUGAIN, 1, rue d'Assas.
GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.
GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.
GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 1, rue Basse-Notre-Dame.
GAYON, Chimiste en chef de la Douane des sucres, à Bordeaux.
GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.
GIRARD (Ch.), Professeur au Collége Rollin, 9, rue Thenard.
GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.
GIROUD (D.), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels.
GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.
GOSSART (Ferdinand), à Mareuil-sur-Ay (Marne).
GOSSIN, Proviseur au Lycée de Marseille.
GOTENDORF (Silvanus), 43, rue Richer.
GOVI, Professeur à l'Université de Turin, 2, rue de Grammont.
GRAY (Matthew), Directeur de l'usine de l'Indian-Rubber gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.
GRAY (Robert Kay), Ingénieur électricien à l'usine de l'Indian-Rubber, gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.
GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.
GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Nîmes, 24, rue Dorée.
GROGNET (L.), Chimiste, manufacturier à Dijou.
GROSSETESTE (William), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.
GUELPA, Principal du Collége de Sétif.
GUILLEBON (de), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HANRIOT, Professeur de Physique honoraire à la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
HARMAND, Sous-Chef des ateliers au chemin de fer de l'Est, à Épernay.
HESEHUS (N.), Attaché à l'Université de Saint-Pétersbourg.
HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).
HUGO (le Comte Léopold), 94, rue de la Victoire.
HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.
HUREAU DE VILLENEUVE (le Dr), 95, rue Lafayette.
HURION, Professeur à l'École de Cluny (Saône-et-Loire).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

JABLOSCHKOFF, Ingénieur, 31, rue d'Offemont (place Malesherbes).
JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
JANDEAU, Professeur au Collége de Tourcoing.
JANNIN, Professeur au Lycée d'Albi, 9, rue Mariès.

MM.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.
JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophthalmologie, 25, rue St-Roch.
JENNESSON, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
JÉNOT, Professeur au Lycée, à Nancy.
JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).
JOLY, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Besançon.
JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 52, rue Saint-Georges.
JOUBERT, Professeur au Collége Rollin, 50, rue Gay-Lussac.
JOULE (**J.-P.**), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester.
JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 26, rue de Pontoise.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).
LAFOREST (**de**), Lieutenant-Colonel du 33e de ligne, à Arras.
LALANCE (**l'Abbé**), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.
LAMY, Professeur à l'École Centrale, 77, boulevard Saint-Michel.
LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Dijon, 3, rue de Lamonnoye.
LAPORTE, Lieutenant à l'École militaire des sous-officiers d'Infanterie, au camp d'Avord (Cher).
LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.
LATTES (**Oreste**), Ingénieur à Turin (Italie).
LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
LAVIÉVILLE, Sous-Directeur de l'École de Cluny (Saône-et-Loire).
LE BLANC (**Félix**), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.
LEBOSSÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'Institution Richelieu de Luçon (Vendée).
LECARME, Professeur au Collége Chaptal.
LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.
LECOAT, Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).
LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), à Cognac.
LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.
LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.
LERMONTOFF, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de St-Pétersbourg.
LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 38, quai Henri IV.
LESCHI, Professeur au Collége de Corte (Corse).
LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.
LEVY (**Armand**), Professeur au Lycée de Lorient.
LIPPMANN, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, 59, rue des Feuillantines.
LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Rochefort.
LISSAJOUS, Recteur de l'Académie de Besançon.
LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 49, rue des Noyers.

MM.

MACÉ, Professeur au Lycée, à Grenoble.
MALLEZET, Architecte, 22, rue de Turgot.
MANGIN, Lieutenant-colonel, du Génie, 18, boulevard des Invalides.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Professeur au Collége de France, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 15, rue Malebranche.
MASSE, Professeur au Collége d'Épernay.
MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 10, rue Hautefeuille.
MAUMENÉ, Chimiste, 91, avenue de Villiers.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 29, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.
MERCADIER, Ingénieur des télégraphes, 103, rue de Grenelle-Saint-Germain.
MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).
MEURIEN, Pharmacien, à Lille.
MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.
MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.
MONCEL (**Comte du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MORRIS, Inspecteur des Lignes télégraphiques.
MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.
MOUCHOT, Professeur au Lycée, à Tours.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.
MOUTON, Directeur-adjoint du Laboratoire des Hautes Études, 61, rue des Feuillantines.
MUIRHEAD (**Dr Alexandre**, F. C. S.), 159, Cambden Road, Londres.
MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regent-Street, Westminster, Londres.

NAPOLI (**David**), Chimiste, au chemin de fer de l'Est, 15, rue Pigalle.
NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.
NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.

OGIER (**Jules**), 45, rue de Chabrol.

PACHE (**Alf.**), Ingénieur, 20, rue des Orphelins, à Mulhouse.
PASSOT (**Dr**), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.
PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).
PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, à Marseille.
PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Fontanes, 21, rue Monge.

MM.

PÉRIGNON, 105, faubourg Saint-Honoré.

PERNET, Professeur au Lycée de Troyes.

PERNET (**Dr J.**), chargé des fonctions de Directeur du Bureau international des poids et mesures.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.

PERROUD, Préparateur au Lycée Fontanes.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 3, rue Richer,

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.

POTIER, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

POUSSIN D'ELBEUF, Ingénieur manufacturier.

PRAZMOWSKI, Constructeur d'Instruments d'optique, 1, rue Bonaparte.

PRÉSIDENT (**le**) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PROTCHE (**le Colonel**), Commandant en second de l'École Polytechnique.

PUCHEU, Professeur au Collége de Béziers.

PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 74, rue des Feuillantines.

PUYFONTAINE (**Comte de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 59, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RAMEAUX, Professeur à la Faculté de Nancy.

RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.

RAYET, Professeur à la Faculté de Bordeaux, 88, rue du Tondu.

RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.

REYNIER, Ingénieur, 19, avenue de l'Observatoire.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

REY, Professeur de mathématiques à l'École régimentaire du Génie, à Arras.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 37, rue du Château.

ROLLAND (**E.**), Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirrier, 44, rue de Poissy, à Enghien.

ROOSEVELT, Ingénieur, 1, rue de la Bourse.

ROUSSE, Professeur au Lycée de Saint-Étienne, 23, rue Saint-Étienne.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 7, rue Taranne.

SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.

SALET, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boulevard Saint-Germain.

MM.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 61, avenue de Villiers.
SCHÆFER (**G.-H.**), Professeur au Collége d'Alais.
SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.
SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 36, rue Gay-Lussac.
SECCHI (**le P. A.**), Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
SÉGUIN, Recteur de l'Académie de Caen.
SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.
SIDOT, Préparateur au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine.
SIMOUTRE (**l'Abbé**), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.
SIRE (**G.**), Docteur ès sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon, 15, rue des Chambrettes.
SIRVENT, Professeur au Collége Rollin, 116, rue de Rennes.
SOBAUX (**l'Abbé**), Prof. au Petit Séminaire de Paris, 19, rue N.-D.-des-Champs.
SOURDEVAL (**de**), 22, rue Bergère.
SPOTTISWOODE (**W.**), Vice-Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
STOKES (**G.-G.**), Lucasian Professor of Mathematics in the University of Cambridge. — Lensfield Cottage Cambridge.
STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nîmes, 61, rue Roussy.
TERNANT, Repr^{t} de la Cie de l'Eastern Telegraph, 8, r. Pavé-d'Amour, Marseille.
TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
THENARD (**le baron Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.
THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.
THOMSON (**Sir William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow.
TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).
TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 69, avenue de l'Alma.
TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.
TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).
TRIPIER (**le D^{r}**), 6, rue Louis-le-Grand.
TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.
TURIÈRE, Professeur au Collége de Béziers.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.
VAN DER VLIT, Privat-Docent de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.
VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électromagnétiques, 67, avenue de Wagram.
VARACHE, Professeur au Collége de Béziers.
VARIN, Professeur au Collége, à Épinal.
VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 8, rue Gay-Lussac.
VERMEILLE, Professeur, 49, rue du Cardinal-Lemoine.
VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.

MM.

VILLIERS (**Antoine**), 8, rue du Havre.
VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).
VIOLLE, Professeur à la Faculté de Grenoble.

WAHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
WALFERDIN, à Nice.
WARREN DE LA RUE, 73, Portland place, Londres, W.
WERLEIN, Constructeur d'Instruments d'optique, 7, rue Berthollet.
WEST, Intendant militaire en retraite, 13, rue Bonaparte.
WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.
WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.
WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 95, rue des Feuillantines.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

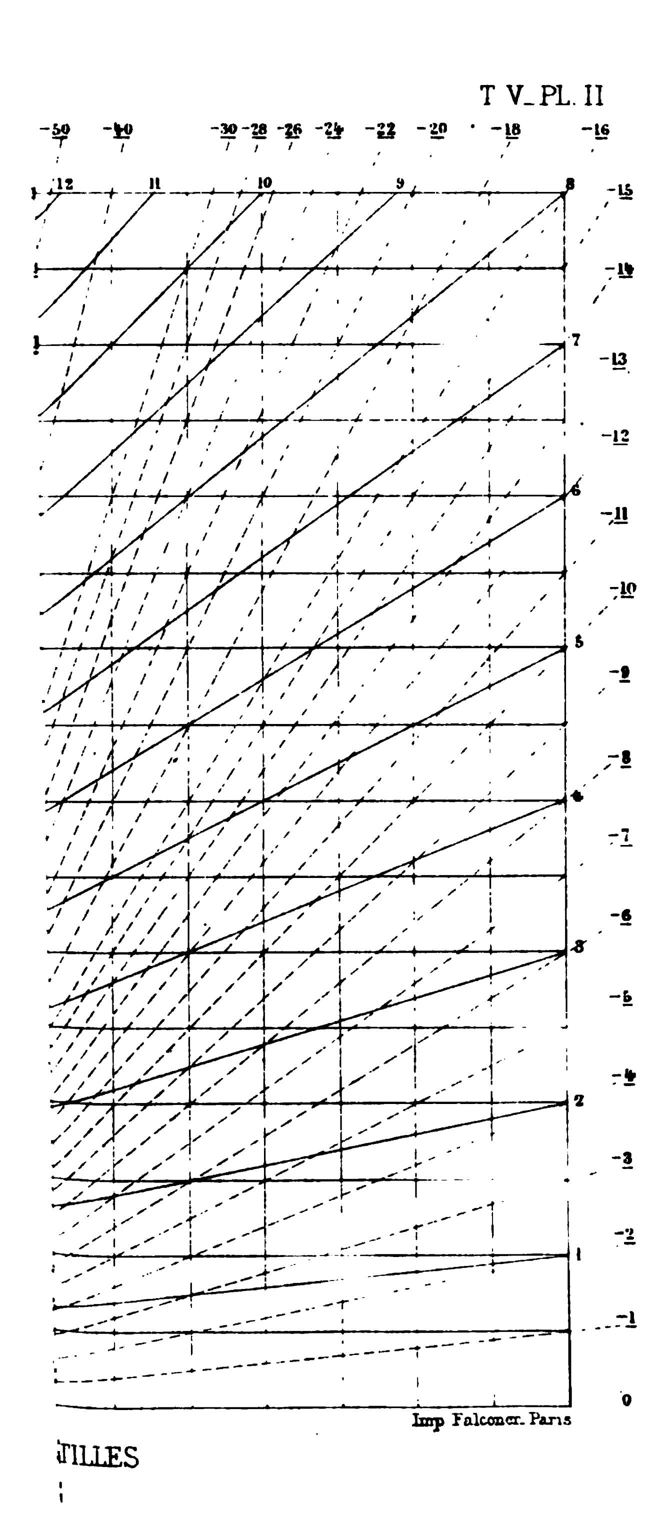
ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 202, calle Catedral, à Santiago.
ZILOFF, Professeur de Physique, à Moscou (Russie).

Mars 1878.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

4316 PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, QUAI DES AUGUSTINS, 55.


T V_PL. II
-50 -40 -30 -28 -26 -24 -22 -20 -18 -16
12 11 10 9 8
-15 -14 7 -13 -12 6 -11 -10 5 -9 -8 4 -7 -6 3 -5 -4 2 -3 -2 1 -1 0
Imp Falconer. Paris
TILLES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1878.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1878.

PARIS,
AU SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1878

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 4 JANVIER 1878.

PRÉSIDENCE DE MM. ED. BECQUEREL ET BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 décembre 1877 est lu et adopté.

Au début de la séance, on procède à l'élection du bureau.

Le bureau de l'année 1878 se trouve ainsi composé :

M. Blavier, *Président ;*
M. Berthelot, *Vice-Président ;*
M. d'Almeida, *Secrétaire général ;*
M. Mouton, *Secrétaire ;*
M. Bouty, *Vice-Secrétaire ;*
M. Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

M. Ed. Becquerel, fait l'éloge de M. Cazin, secrétaire, et de M. Ruhmkorff, membres de la Société décédés pendant l'année ; il résume les travaux et les acquisitions opérés dans l'année qui se termine, et cède la présidence à M. Blavier.

Sont élus membres de la Société : MM. Barbier, ingénieur chimiste à Paris ; Pratzmowski, constructeur d'instruments d'optique à Paris.

M. Trouvé expose à la Société son polyscope électrique, qu'il destine surtout à éclairer les cavités du corps humain. Son appareil a pour base les phénomènes de polarisation, dont M. Planté a fait un si brillant usage.

M. Mascart décrit d'abord une pile Daniell, à grande surface, imaginée par M. Thomson, et qu'il utilise depuis longtemps dans son laboratoire du Collége de France.

La résistance d'un élément peut être amenée à être moindre que 0,1 d'Ohm, c'est-à-dire moindre que la résistance d'un Bunsen grand modèle. — A propos de l'adaptation de cette pile à des moteurs magnéto-électriques. M. Mascart étudie les conditions théoriques de rendement de ces moteurs.

Renversant la question, il étudie la machine magnéto-électrique au point de vue de la production de l'électricité. Les expériences sont faites avec une machine Gramme, tour à tour employée comme moteur attelé, à une machine de Holtz, ou comme producteur de courant donnant dans une bobine Ruhmkorff des étincelles d'induction.

Il montre dans ce dernier cas l'influence puissante de la nature de l'anneau de la machine Gramme, sur la longueur des étincelles; il explique cette influence.

MM. Ed. Becquerel et Cornu présentent quelques observations sur le rendement et les conditions de réversibilité des machines magnéto-électriques.

Polyscope, par M. Trouvé.

J'ai l'honneur de présenter à la Société de Physique le polyscope, appareil destiné à éclairer les cavités du corps humain, l'intérieur des mines, des poudrières, la profondeur des eaux, etc.

Cet appareil est basé sur la propriété que possède un courant voltaïque de dégager de la chaleur dans un circuit voltaïque de petite section, et dont Joule a donné la loi suivante :

La quantité de chaleur dégagée dans l'unité de temps dans un fil métallique homogène traversé par un courant voltaïque est proportionnelle : 1° à la résistance que ce fil oppose au passage de l'électricité ; 2° au carré de l'intensité du courant.

Cette propriété du courant voltaïque de porter au rouge les conducteurs métalliques résistants en les traversant a été utilisée en chirurgie par John Marschal vers 1851 ; par Leroy d'Etioles, 1852 ; Middeldorff, 1854 ; Broca, 1856 ; etc. Ce ne fut que plus tard qu'on chercha à produire l'éclairage. En 1867, M. Bruck, dentiste à Breslau, présentait un appareil destiné à éclairer les cavités buccales et auquel il donnait le nom de *stomatoscope*. Un peu plus tard, en France, M. le Dr Milot, à l'École pratique de Paris fit de nombreuses expériences sur les animaux pour éclairer l'estomac.

Le succès ne répondit pas à ses tentatives par suite de l'inconstance de la source électrique qui nécessitait alors des fils de platine très-gros pour ne pas les exposer à une volatilisation permanente. On obtenait bien des effets lumineux, mais on obtenait en même temps des effets calorifiques trop intenses pour l'application de cet éclairage. On eut bien recours à une circulation d'eau pour anéantir ce calorique au fur et à mesure de sa production ; mais les appareils étaient alors très-volumineux et devenaient d'un maniement si difficile qu'ils ne passèrent pas dans la pratique.

Convaincu de l'importance pratique d'un pareil système d'éclairage, j'a ipoursuivi, sans relâche à partir de 1870, mes essais en ce sens. Les résultats que j'ai obtenus et l'instrument perfectionné sont tels, que la pratique chirurgicale n'a pas tardé à s'en emparer.

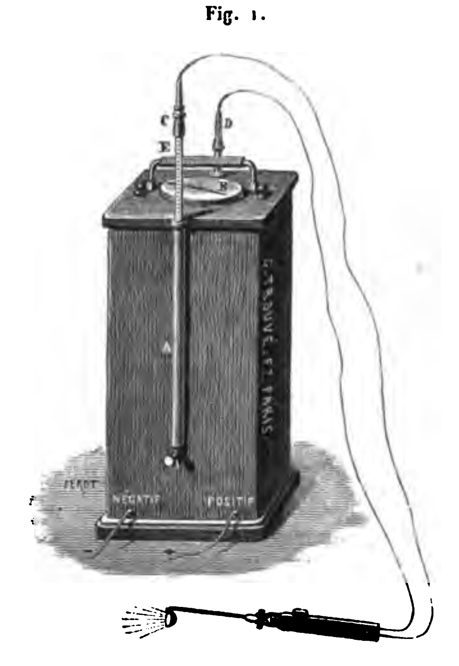
Les réflecteurs sont paraboliques et émaillés extérieurement, par mesure de propreté, et pour éviter et la chaleur et la sensation désagréable d'un métal au contact des muqueuses. Tous ces organes sont d'une exécution irréprochable. Par une disposition des plus ingénieuses, le praticien peut instantanément et à volonté remplacer le platine qui n'est plus enroulé en spirale comme on l'avait fait généralement jusqu'alors, mais simplement aplati vers son milieu, de manière à constituer un petit disque central représentant seul le foyer lumineux. D'après M. le capitaine Manceron, la substitution du disque de platine à la spirale double sensiblement le pouvoir éclairant et permet d'éclairer et de visiter avec le polyscope, non-seulement l'intérieur des obus et des canons de toutes dimensions, mais encore d'en faire des projections (1).

(1) Expériences de M. le capitaine Manceron à Saint-Thomas d'Aquin.

Ces résultats si satisfaisants tiennent en grande partie au choix judicieux et à l'emploi de la pile secondaire de M. Gaston Planté, qui a été présentée à la Société de Physique et dont le nom est bien connu des membres de la Société. J'ai su toutefois régler à volonté l'écoulement de l'électricité emmagasinée, au moyen d'un rhéostat spécial d'une grande simplicité, et par l'adjonction d'un galvanomètre à deux circuits dans lequel la force électromotrice du réservoir et celle de la pile sont en opposition. Grâce à la combinaison de ces organes, le praticien peut toujours régler à volonté l'écoulement du fluide et sait toujours par le galvanomètre l'état de charge dans lequel se trouve la pile secondaire.

Telle est la régularité de cet écoulement, grâce au rhéostat spécial, que les fils de platine des réflecteurs sont maintenus pendant plusieurs heures, sans crainte de volatilisation, dans un état d'in-

Fig. 1.



candescence et presque de fusion, malgré leur état de ténuité de $\frac{1}{10}$ à $\frac{2}{10}$ de millimètre. Le calorique produit, dans ces conditions, élève assez peu la température du réflecteur, pour qu'il ne puisse être facilement maintenu en contact avec les muqueuses

sans en être incommodé, pendant plusieurs minutes consécutives.

En résumé, le polyscope se compose :

1° D'un réservoir A (*fig.* 1,) emmagasinant l'électricité dynamique, ou pile secondaire de M. Gaston Planté, muni d'un rhéostat spécial AC, ou régulateur extrêmement simple, destiné à régler l'écoulement de l'électricité du réservoir; nous disons

Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.



écoulement, car ceux de nos lecteurs qui connaissent la pile secondaire savent qu'elle peut être complétement assimilée à un réservoir hydrostatique.

Le rhéostat, dans la pile secondaire, joue le même rôle que le robinet du réservoir hydrostatique : tous deux modèrent à volonté l'écoulement des fluides.

Cette régularité est si grande que, comme nous l'avons dit plus haut, l'appareil permet de porter vers le point de fusion, sans jamais le dépasser, des fils de platine depuis $\frac{1}{10}$ de millimètre jusqu'à $1^{mm},5$ de diamètre.

D'un galvanomètre B, à deux circuits, qui permet à l'opérateur ou au praticien de reconnaître immédiatement, d'une part, l'état dans lequel se trouve la batterie pour charger le réservoir, et, d'autre part, l'état de charge du réservoir.

2° D'une série de réflecteurs (*fig.* 2, 3, 4 et 5,) sphériques ou paraboliques, munis ou dépourvus de miroirs et donnant des jeux de lumière variés et appropriés à l'éclairement, soit d'une salle de poudrière, soit des cavités naturelles, etc., etc. Un manche à pédales et des rhéophores servent à établir la liaison entre le réservoir et les réflecteurs par les pinces à coulants CD.

La *fig.* 2 représente un réflecteur de la bouche pour les dentistes. La puissance de ce réflecteur est telle, que les dents devenant complétement transparentes, on ne perd aucun détail de leur état. Ce réflecteur, placé à l'extrémité d'une sonde œsophagienne, éclaire l'estomac par transparence.

On voit dans la *fig.* 3 un réflecteur avec miroir laryngien pour la laryngoscopie et la rhinoscopie. Ce réflecteur, sur lequel peut s'adapter une série de miroirs de différentes grandeurs, fait avec ceux-ci un angle fixe de 45 degrés. Cet angle déterminé d'avance fait que, sans aucun tâtonnement, les cordes vocales comme les fosses nasales se trouvent réfléchies immédiatement dans le champ du miroir et d'une façon beaucoup plus nette que dans la laryngoscopie ordinaire, puisque l'éclairement est direct.

Le réflecteur de la *fig.* 4 est semblable à celui de la *fig.* 3, mais sans miroir, et pouvant éclairer dans la généralité des cas les cavités naturelles : la bouche, la gorge, l'arrière-gorge, le vagin, le rectum, etc. Aucun autre système d'éclairage ne peut rivaliser avec celui-ci pour éclairer le fond d'un spéculum. Le pouvoir éclairant se trouve, en effet, placé à une distance aussi minime qu'on le désire des parties à examiner, et, en outre, l'opérateur ne peut être incommodé par la source lumineuse, car il ne la voit pas.

Enfin, la *fig.* 5 représente un réflecteur avec miroir articulé construit pour M. le D[r] Alvin, pour faire spécialement de la rhinoscopie.

SÉANCE DU 18 JANVIER 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Brillouin, agrégé préparateur au Collége de France ; Chabrerie, professeur au Collége de Brives ; Pollard, ingénieur de la marine à Cherbourg.

M. Melsens fait hommage à la Société de son Mémoire relatif au système de paratonnerre qu'il a été chargé d'établir sur l'Hôtel-de-Ville de Bruxelles.

M. d'Almeida résume les parties principales de ce travail, et donne une description succincte des innovations apportées par l'auteur.

M. Mascart dit qu'en principe le mode de préservation adopté par M. Melsens consiste à enfermer l'édifice dans une cage en fer convenablement reliée au sol.

A propos de cette communication avec la terre, M. Berthelot présente quelques observations spéciales sur le raccordement des conduites d'eau et de gaz avec les paratonnerres. Ce raccordement paraît conforme aux règles générales, en ce qui touche l'édifice lui-même, dont l'intérieur se trouve ainsi protégé contre les décharges latérales, l'une des principales causes d'incendie. Le réseau métallique des paratonnerres rencontre en même temps dans les tuyaux d'eau des voies supplémentaires pour l'écoulement de l'électricité, en raison du contact des tuyaux avec le sol humide.

Cependant, malgré des avantages aussi évidents et reconnus par la plupart des physiciens, le raccordement des paratonnerres avec les conduites d'eau n'a pas été autorisé dans certaines grandes villes. Des personnes fort compétentes ont pensé que ce pourrait n'être pas sans danger pour les ouvriers occupés à réparer la canalisation souterraine, spécialement lorsque celle-ci se trouve suspendue dans l'intérieur des égouts. Cette crainte pourrait être écartée en établissant de distance en distance des jonctions métal-

liques avec le sol humide et avec les eaux d'égout. Dans le cas d'interruption momentanée des conduites pour cause de réparation, un règlement facile à imaginer écarterait tout péril, en prescrivant la mise en communication temporaire avec le sol humide ou avec les eaux d'égout de la partie interrompue.

En ce qui touche les tuyaux de gaz, la question est un peu différente. Les petites conduites qui apportent le gaz dans les édifices sont en plomb ou en fer ; elles sont d'ordinaire en contact direct avec un sol humide, ce qui assure la protection. Mais dans les terrains exceptionnels, où le sol serait sec, comme il arrive dans certaines villes, la protection pourrait faire défaut. On ne doit pas compter d'ailleurs sur les maîtresses conduites pour la compléter, attendu qu'elles sont souvent recouvertes de bitume et séparées les unes des autres par des joints isolants. Les conduites de gaz n'offrent donc pas dans tous les cas une protection supplémentaire ; mais il est nécessaire de les protéger elles-mêmes.

Sous ce point de vue les compteurs à gaz donnent lieu à quelques remarques. En effet l'observation a prouvé que dans les édifices foudroyés il s'est produit quelquefois des décharges sur le compteur lui-même, c'est-à-dire en un point excessivement dangereux à cause de l'inflammation du gaz et de la destruction possible des robinets d'arrêt. Cet accident s'explique par le changement brusque de conductibilité qui a lieu à la double jonction du compteur formé d'une simple feuille de tôle avec le tuyau d'entrée et le tuyau de sortie, formés d'un cylindre de plomb épais. Tout accident sur le compteur serait prévenu en rejoignant les deux tuyaux d'entrée et de sortie par une large et épaisse lame de plomb soudée de part et d'autre. Le tuyau de plomb, formant raccord direct avec le robinet auxiliaire qui existe sur certains modèles de compteurs entre les deux tuyaux, remplit la même destination.

Le Secrétaire général présente encore, de la part de M. Melsens, un rhéélectromètre, qui sur ses conseils est employé par l'administration des lignes télégraphiques de Belgique, pour déterminer la direction des coups foudroyants.

M. Melsens fait don de cet instrument à la Société qui lui adresse ses remercîments.

Le Secrétaire général lit une lettre de M. Jamin, annonçant à la Société la mort de M. Becquerel.

M. Antoine Bréguet expose à la Société les recherches faites jusqu'à présent dans le but de renforcer les sons du téléphone.

M. Marcel Deprez rend compte des différents systèmes qu'il a successivement essayés et des résultats auxquels il est déjà parvenu, résultats au moins égaux, et en tous cas antérieurs à ceux que, d'après M. Roosevelt, aurait obtenus M. Edison.

Il est ensuite procédé à l'élection des membres du Conseil.

Sont élus :

Membres résidants :

MM. Becquerel (Ed).
Cavaillé-Coll.
Joubert.
Mascart.

Membres non résidants :

MM. Abria.
Cailletet.
Lissajous.
Warren de la Rue.

Paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples, de M. Melsens ; par M. Ch. d'Alméida [1].

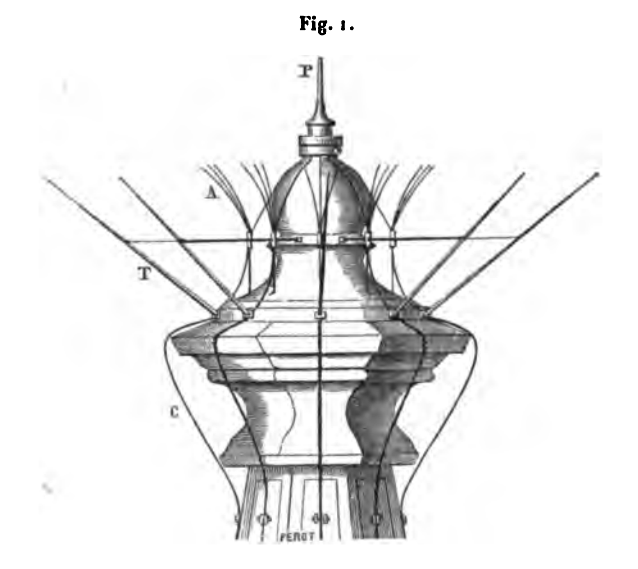
Plusieurs fois depuis le commencement de ce siècle l'hôtel de ville de Bruxelles a été frappé par la foudre. L'administration municipale, désirant mettre ce magnifique monument à l'abri de tout nouvel accident, chargea M. Melsens d'y installer des paratonnerres. Le problème consistait à protéger un vaste édifice au-dessus duquel s'élève une tour de 40^m qui est terminée par une flèche. Au-dessus l'image de saint Michel terrassant le dragon forme une immense girouette métallique. Pour parvenir à son but, l'auteur n'a pas manqué de suivre les instructions données par les diverses publications anglaises et allemandes et particulièrement celles de l'Académie des Sciences de Paris, instructions classiques dont il n'est pas permis de s'écarter. Mais ayant la conscience de la grande responsabilité qu'il avait assumée sur lui, en se chargeant d'un

(1) Le *Bulletin de l'Académie royale de Belgique* ne contient qu'un exposé très-succinct du travail de M. Melsens. Les détails les plus minutieux se trouvent dans un volume qui est publié aux frais de la ville de Bruxelles, et qui porte, avec le titre que nous venons de faire connaître, le sous-titre : *Description détaillée des paratonnerres établis sur l'hôtel de ville de Bruxelles en 1865.*

pareil travail, il chercha à appliquer les instructions données en les perfectionnant. De ces perfectionnements est sorti un système qui est bien caractérisé par le titre même du Mémoire : 1° aux quelques tiges de paratonnerre qu'il est prescrit d'élever au-dessus des édifices, M. Melsens substitue une multitude de tiges et de courtes aigrettes ; 2° le conducteur du paratonnerre n'est pas unique : il est formé d'un grand nombre de gros fils qui descendent le long de divers côtés de l'édifice et ne se réunissent qu'au voisinage du sol ; 3° la communication avec le sol ne s'établit pas au moyen seulement de l'eau du puits où plonge le conducteur, mais aussi par l'intermédiaire des conduites d'eau et des tuyaux de gaz. Nous allons passer rapidement en revue chacun des trois points signalés.

1° La *fig.* 1 représente le sommet de la flèche octogone qui surmonte la tour. P est la base du pivot sur lequel peut tourner le

Fig. 1.



saint Michel terrassant le dragon qui la domine. L'inspection de cette figure montre la série de tiges T et d'aigrettes A qui se trouvent sur chaque face de l'octogone. Les tiges T n'ont que 2^{m} de longueur et sont inclinées de 45° environ, les aigrettes 50^{c} : les premières, en fer, sont terminées par des pointes de cuivre dorées ; les aigrettes sont en cuivre rouge, en forme de cônes très-

aigus, et aiguisées à la lime. De plus, l'archange qui est en métal et qui porte une épée dirigée vers le ciel, a toute l'efficacité d'une pointe de paratonnerre ordinaire. Le pivot P sur lequel il tourne et la chape sont constamment usés par les frottements du mouvement de rotation, et la communication entre toutes ces pièces se trouve parfaitement établie. A chaque étage de la tour est disposé un système d'aigrettes semblables au précédent; les tourelles, les clochetons, les hautes saillies, les toits de l'édifice en portent également. En tout on compte 428 pointes formant 60 aigrettes distribuées sur une dizaine de plans horizontaux. Mais ces aigrettes, quelque nombreuses qu'elles soient, sont d'un prix modique, vu leurs petites dimensions et la simplicité de leur construction. Ajoutons enfin que tout ce système, très-apparent sur la figure, est à peine visible du pied de l'édifice; la beauté architecturale n'est pas détruite. Voici le paratonnerre armé, occupons-nous du conducteur.

2° Du pivot de la girouette, M. Melsens a fait partir huit gros fils de fer galvanisés C, de 10^{mm} de diamètre, qui descendent le long de la flèche octogone, un le long de chaque face. Ces fils forment par leur ensemble un conducteur de section considérable, et cependant chacun est flexible et peut épouser la forme de l'édifice. Avant d'arriver aux toits des bâtiments de l'hôtel de ville, ces fils sont réunis plusieurs fois par d'autres fils qui enveloppent d'une ceinture la tour aux différents étages. Après avoir parcouru les toits, ils se réunissent dans une masse de zinc fondu puis solidifié.

3° La communication avec la terre est établie au moyen d'un large tuyau de fer étamé qui plonge dans un puits creusé dans la cour du monument. Un faisceau de fils de fer étamés, partant de la masse de zinc qui unit les conducteurs, est soudé à ce tuyau. Dans les temps de plus grande sécheresse la surface métallique en contact avec l'eau est au moins de 10^{mq}. Les communications avec les conduites d'eau et les tuyaux à gaz sont établies par l'intermédiaire de fils étamés qui partent aussi de la base des conducteurs. Des regards permettent de visiter les jonctions. Avec le galvanomètre, M. Melsens s'est assuré que ces deux derniers modes d'union du conducteur avec le sol étaient très-supérieurs à ceux qui sont prescrits par les instructions connues.

Par la courte analyse que nous venons de faire du Mémoire de

M. Melsens, on voit que les trois conditions essentielles pour qu'un paratonnerre soit efficace sont certainement remplies, plus certainement remplies que par les moyens prescrits. Si la foudre atteint jamais l'édifice et la tour en particulier, elle frappera les tiges, les aigrettes ou les huit conducteurs qui descendent en se reliant entre eux. Certes ces conducteurs, écartés de plusieurs mètres les uns des autres, sont loin de constituer une cage impénétrable à la foudre (1). Il faudrait pour cela qu'ils fussent très-rapprochés; mais, si le potentiel n'est pas constant dans tout l'espace qu'ils embrassent, ses variations sont notablement réduites et les forces électromotrices qui peuvent y être mises en jeu ne doivent laisser aucune inquiétude. M. Melsens ne craint pas de monter au sommet de la flèche par les plus forts orages, et il n'y a pas grande témérité.

Il reste enfin un dernier point qu'il est utile de signaler; d'autant plus que jusqu'à ces derniers temps on a négligé de s'en occuper et cependant il a une grande importance; je veux parler de la vérification du paratonnerre. Les dispositions prises par M. Melsens rendent cette vérification facile. En faisant fondre le zinc qui est contenu dans la cuve où se rendent les huit conducteurs, on peut les en détacher, et la communication avec le sol est interrompue. D'ailleurs un fil métallique recouvert de gutta-percha descend du sommet de l'édifice; là, à ce sommet, il se trouve constamment uni au système des conducteurs et arrive jusque près du sol. Un galvanomètre mis en relation avec ce fil et avec les conducteurs permet de vérifier la conductibilité de ceux-ci. Du reste, cette vérification ne doit pas empêcher de vérifier les conducteurs

---

(1) On trouvera dans le t. I, p. 29, du *Journal de Physique*, la description d'une expérience attribuée à tort à Faraday, mais qu'il faut restituer à de Romas, et même tome, p. 152, est donnée l'explication de cette expérience. Dans une cage, les points protégés qui sont compris à l'intérieur du solide s'obtiennent en menant des plans à une distance égale à la moitié de l'intervalle qui sépare les barreaux. Si les barreaux sont très-rapprochés, ce solide est à peu près égal à l'espace intérieur total. S'ils sont éloignés, il est fort réduit, et même il n'existe plus; le théorème précédent n'est même pas applicable. Ce dernier cas est celui des conducteurs Melsens. Pour reproduire la cage de Romas, il faudrait envelopper l'édifice à protéger dans un treillage métallique, ce qui ne se fera jamais, sauf peut-être pour les poudrières, qu'il vaudrait mieux construire tout entières en métal : cette construction ne serait pas sans doute d'un prix inabordable. Bien entendu, les parois intérieures recevraient un revêtement convenable.

et de s'assurer *de visu* de leur état de conservation. La visite des soudures est surtout nécessaire.

L'auteur termine son travail par un appendice qui indique les applications du système aux divers cas qui peuvent se présenter dans la pratique: églises, maisons d'habitation, fermes, etc.

Téléphones à courant de pile; par M. Antoine Bréguet.

J'ai l'honneur de présenter à la Société un résumé des diverses expériences entreprises jusqu'ici, en vue d'appliquer les courants des piles à la téléphonie, au téléphone Bell en particulier.

Je dirai tout d'abord pourquoi cette application a sa raison d'être :

Dans les téléphones à induction, comme celui de Bell, la limite de puissance des sons perçus ne peut évidemment dépasser la puissance des sons émis, puisqu'ils n'ont pour cause unique que la force vive de ces derniers. Mais il n'en est pas de même si l'on n'utilise la force vive des sons à leur départ que pour ouvrir une porte d'accès à des courants provenant d'une source voltaïque quelconque. Alors, c'est l'énergie de cette source qui est employée à produire les sons dans l'appareil récepteur, et comme la source peut être prise aussi puissante qu'on le veut, on conçoit aisément que les sons perçus puissent même dépasser en intensité les sons émis.

C'est cette considération, qui a conduit M. Edison à la réalisation d'un téléphone fonctionnant par la pile.

Dans cet ordre d'idées, il fallait renoncer, pour transmettre le timbre des sons, à se servir des procédés qui caractérisent les instruments de MM. Reis, Paul Lacour, Warley, etc.

Dans ces appareils, les organes (membranes ou diapasons) en vibration déterminent l'émission de courants de pile, en fermant un circuit métallique à chacune des périodes extrêmes de chaque vibration. Ces courants servent à faire vibrer synchroniquement les organes similaires au port d'arrivée; mais c'est là, pour ainsi dire, une analyse quantitative et non qualitative des vibrations

Leur nombre est transmis fidèlement, mais non leur amplitude et leur forme, qui correspondent respectivement à l'intensité et au timbre. Il fallait donc trouver le moyen de faire varier l'intensité du courant permanent d'une pile, en concordance avec les mouvements élémentaires d'un organe vibrant. M. Edison avait reconnu à la plombagine la propriété de présenter d'autant moins de résistance au courant, qu'elle est soumise à une pression plus forte. MM. Garnier et Pollard réalisèrent à Cherbourg les conditions d'expériences de M. Edison, en se servant d'un porte-crayon ordinaire à mine de plomb, dont la pointe était mise en contact avec la partie centrale d'une petite membrane de fer-blanc. Le crayon et la membrane étaient alors interposés dans le circuit d'une pile de dix éléments Leclanché, ainsi qu'un téléphone Bell ordinaire au poste de réception. Sous l'influence de la voix, la plaque de l'appareil transmetteur entre en vibration et la pointe de graphite subit une série de modifications dans son contact avec la plaque, sans que ce contact soit jamais rompu. Ces modifications se traduisent par des variations dans la résistance du circuit, au point de contact même et, par conséquent, par des variations dans l'intensité du courant permanent de la pile. On conçoit dès lors que ce courant influence la membrane du téléphone récepteur de façon à lui faire rendre des sons, absolument comme dans le véritable appareil de Bell. M. Salet, en même temps que MM. Garnier et Pollard, avait de son côté répété l'expérience de M. Edison; mais craignant, dans les conditions où s'étaient placés ces expérimentateurs, l'usure de la pointe de plombagine et les modifications perturbatrices de contact qui s'ensuivraient, il renversa l'expérience et se servit de pointes métalliques mousses, solidaires d'une plaque vibrante et légèrement pressées sur une surface plane de graphite. M. Salet porta aussi ses essais sur le charbon de cornue, qu'il substitua à la plombagine, et dans ce cas, au lieu de pointes mousses, il employa une véritable surface métallique, dont la pression variable sur le charbon donnait les variations correspondantes de courant.

Ces diverses expériences m'ont fait penser que c'était peut-être à tort que M. Edison avait attribué à la pression le rôle de modifier la résistance électrique de la plombagine. Le simple contact entre deux surfaces conductrices quelconques devient nécessaire-

ment plus intime lorsque ces surfaces sont pressées l'une contre l'autre, et la pression n'a ici pour effet que de mettre en contact un plus grand nombre de points, ce qui diminue évidemment la résistance au passage du courant. Pour un courant de quelques éléments Leclanché, c'est surtout avec des substances qui ne sont pas de très-bons conducteurs, comme le graphite et le charbon de cornue que l'expérience d'Edison peut réussir. Pour des surfaces métalliques, le contact sans pression est déjà assez parfait, et la résistance au courant est déjà trop faible pour qu'un contact plus intime, produit par la pression, puisse amener une diminution appréciable dans la résistance. Mais, en employant des courants un peu plus énergiques et des métaux dont la surface présente l'aspect d'une lime, j'ai pu voir très-nettement l'expérience d'Edison se réaliser pour ces nouvelles substances et les employer à faire fonctionner un téléphone Bell, comme le charbon de cornue de M. Salet.

SÉANCE DU 1er FÉVRIER 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 janvier est lu et adopté.

Il est procédé à la nomination de quatre membres honoraires, dont deux en remplacement de M. Becquerel et Regnault.

Sont élus : MM. Fizeau, membre de l'Institut; Joule, de Manchester; Stokes, de Cambridge; Broch, de Christiania.

Le trésorier expose l'état financier de la Société et fait le résumé des dépenses et des recettes pour l'année 1877.

MM. Bourdon, Lechat et Maurat, sont nommés membres de la Commission des comptes.

Sont élus membres de la Société : MM. David Napoli, chimiste au chemin de fer de l'Est; G. Trouvé, ingénieur électricien à Paris; Morris, inspecteur des lignes télégraphiques à Paris; Roosevelt, ingénieur à Paris; Eugène Pérignon à Paris; Sylvanus Gotendorf à Paris.

M. le Secrétaire général, lit une lettre de M. Reynier d'après laquelle on devrait attribuer une grande partie des pertes de rendement des machines magnéto ou dynamo-électriques à la chaleur en laquelle se convertissent les nombreux courants induits, dont les pièces de fer mobiles de certaines de ces machines sont le siége pendant le mouvement. M. Reynier cite quelques expériences à l'appui de cette opinion.

M. Jablochkoff montre les condensateurs qu'il a appliqués à l'éclairage électrique, et qui lui ont permis de répartir en plusieurs lampes l'électricité d'une source unique ou, comme il le dit, de canaliser l'électricité.

M. Jamin a étudié la distribution du magnétisme sur des barreaux soumis à des aimantations et désaimantations successives au sein d'une bobine large et plus longue que les barreaux, en employant pour cela la méthode de Van Ries. Il a reconnu qu'un barreau désaimanté ne revient pas à l'état neutre, mais présente en réalité deux points conséquents, comme M. Bouty l'avait annoncé en faisant l'étude des moments magnétiques.

Il indique la loi d'après laquelle varie l'aimantation temporaire ou permanente d'un barreau successivement aimanté ou désaimanté.

Enfin il démontre que l'on peut représenter l'aimantation temporaire ou permanente acquise par un barreau, sous l'influence de courants d'intensité variable, à l'aide de courbes paraboliques construites en prenant pour abscisses les déviations d'une boussole des tangentes traversée par le courant, et pour ordonnées les quantités de magnétisme correspondantes.

Canalisation des courants électriques; par M. Jablochkoff.

Depuis Volta, plusieurs électriciens ont chargé des condensateurs ou des bouteilles de Leyde avec le courant des piles à grande tension. Les recherches les plus intéressantes dans ce sens ont été faites, en Angleterre, par M. Warren de la Rue, et en France par M. Gaston Planté.

De mon côté, j'ai appliqué des bouteilles de Leyde d'une très-grande surface pour distribuer, en plusieurs points différents, le

courant donné par une source unique d'électricité, en vue d'applications à l'éclairage. J'ai travaillé principalement avec les machines à courants alternatifs, et j'ai obtenu des résultats qui, pour leur explication, exigent d'abord une définition générale et une dénomination particulière des appareils employés.

Ces appareils sont de la nature des bouteilles de Leyde et ont l'aspect des condensateurs. Ils se composent de grandes surfaces de feuilles métalliques, séparées par des feuilles isolantes de verre, de gutta, d'étoffes gommées, etc.; selon leur disposition, ils me servent pour produire différents phénomènes nouveaux.

Comme j'opère avec le courant alternatif, il ne peut y avoir de condensation d'électricité pendant un certain temps, pour produire ensuite une décharge instantanée. C'est pourquoi je ne puis nommer ces appareils *condensateurs*. M. Warren de la Rue a nommé *accumulateurs* la série d'appareils servant pour un but que j'expliquerai plus bas, et *excitateurs* la série d'appareils servant pour l'autre but. Je conserverai ces dénominations, en expliquant les différents effets produits par ces appareils.

Voici ces effets. Je réunis l'un des conducteurs d'une machine à courants alternatifs avec l'une des surfaces des appareils que je viens de décrire et que je nommerai, dans ce cas, *excitateurs*. Par l'autre surface de ces excitateurs et le second conducteur (ou la terre), je reçois d'une manière constante un courant alternatif, qui peut être recueilli de différentes façons. On peut, ou bien réunir ensemble les secondes surfaces des appareils, et recueillir le courant par un seul conducteur sur le trajet duquel on placera les foyers lumineux; ou bien faire partir de la seconde surface de chaque appareil un conducteur distinct, et placer sur chacun de ces conducteurs des foyers lumineux. En opérant de l'une ou de l'autre façon, l'expérience m'a montré que l'effet du courant, dans le premier cas, est bien supérieur à l'effet du courant donné directement par la machine. Dans le second cas, la somme totale des effets partiels est aussi supérieure à l'effet du courant primitif.

Par exemple, si, sur le passage du courant d'une machine à courants alternatifs, susceptible seulement de donner une étincelle d'arrachement équivalente à celle de six à huit éléments Bunsen, on interpose une série d'excitateurs dont la surface représente à peu près 500^{mc}, on peut produire un arc voltaïque de 15 à 20^{mm},

et les charbons de 5^{mm} de diamètre rougissent sur une longueur de 6 à 10^{mm} à partir de leur extrémité.

Si, sur le courant d'une bobine d'induction alimentée par un courant alternatif et donnant ainsi une étincelle de 5^{mm}, j'interpose de la même façon un excitateur d'environ 20^{mq} de surface, je reçois un arc voltaïque de 30^{mm}, et, dans ce cas, les charbons de 4^{mm} de diamètre rougissent aussi sur une longueur de 6 à 10^{mm} à leur extrémité.

Je me bornerai aujourd'hui à citer ces faits d'expériences, ajournant toute explication théorique jusqu'au moment où je pourrai avoir des bases plus précises.

Si maintenant, étant donnés un certain nombre de ces appareils, je réunis les secondes surfaces d'un ou de plusieurs d'entre eux avec le second conducteur de la machine ou la terre, j'obtiens, entre les appareils qui restent disposés comme plus haut et le second conducteur de la machine, des effets qui se rapprochent davantage des effets statiques. Ceux des appareils dont les surfaces sont réunies, l'une avec un des conducteurs de la machine, l'autre avec un autre conducteur ou la terre, sont nommés, par M. Warren de la Rue, *accumulateurs*.

SÉANCE DU 15 FÉVRIER 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er février est lu et adopté.

M. le comte Léopold Hugo est élu membre de la Société.

M. le comte L. Hugo envoie une note intitulée : *Sur le nombre des granulations discernables d'après la photographie solaire fournie par l'appareil de Meudon.*

En étudiant la photographie solaire donnée par M. Janssen dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, il trouve que la surface du Soleil présente un nombre de grains égal à 1 300 000.

M. Vincent répète des expériences sur l'emploi du chlorure de méthyle pour la production des basses températures.

M. Cornu communique à la Société le résultat de ses travaux sur le spectre normal ultra-violet.

M. Antoine Bréguet rend compte de quelques expériences nouvelles faites sur le téléphone.

Sur le nombre des granulations discernables d'après la photographie solaire, fournie par l'appareil de Meudon.

(Extrait d'une Lettre de M. le comte Léopold Hugo).

..... En considérant l'épreuve photoglyptique donnée par M. Janssen dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1878, comme représentant l'état moyen de la surface de ce disque, j'ai effectué le calcul ci-après :

L'image obtenue avait en entier $30^c,5$ de diamètre, et la photographie résulte d'un agrandissement au triple.

Le diamètre du disque est ainsi de $91^c,5$ à 92^c, et représente un globe, une sphère de même diamètre.

Une pareille sphère aurait une surface totale (égale à quatre grands cercles) de $26\,000^{cq}$.

Maintenant, si l'on étudie la photographie de l'*Annuaire*, on y trouve en moyenne, par centimètre carré, 50 granulations lumineuses.

Ainsi le résultat de mon calcul est que la surface du Soleil présente un nombre de grains égale à 1 300 000, soit un tiers de plus que le million, seulement.

D'après M. Janssen, ces granulations, individuellement d'une dimension de $1''$ d'arc, sont comprises dans les mailles d'un réseau *photosphérique* dont les éléments (les mailles) ont une dimension, d'ailleurs variable, approchant de $1'$ d'arc.

Supposons que le rapport des grandeurs soit de 50 environ, le rapport des surfaces sera de 2500 ou 3000 environ.

C'est-à-dire que chaque maille photosphérique comprendra dans son contour, souvent polygonal, trois milliers de *cumulus* incandescents.

Nous aurons donc pour la surface entière du réseau environ 4 à 500 éléments polygonaux, et 200 à 250 de ces éléments, plus ou moins obliquement placés, se trouvent à la fois en regard de l'objectif de l'appareil.

Emploi du chlorure de méthyle comme agent frigorifique; par M. Camille Vincent.

Le chlorure de méthyle peut être appliqué judicieusement à la production du froid dans les laboratoires. Je crois utile, avant d'examiner cette application, de rappeler quelques-unes des propriétés physiques de ce corps, et d'exposer sommairement un procédé nouveau de préparation qui permet de l'obtenir en abondance industriellement.

Le chlorure de méthyle, dont la composition est représentée par la formule C^2H^3Cl, est gazeux à la température ordinaire; il est incolore, et possède une odeur douce et une saveur sucrée rappelant celle du chloroforme. Soumis à la compression, il se résout facilement en un liquide incolore et très-mobile, dont la tension de vapeur est de $3^m,13$ de mercure à la température de 15°. Ce liquide entre en ébullition à —23° sous la pression de $0^m,76$ de mercure.

Le chlorure de méthyle a été découvert en 1835 par MM. Dumas et Peligot, qui le préparaient en traitant l'alcool méthylique par un mélange de sel marin et d'acide sulfurique. Il y a eu jusqu'ici peu d'applications de ce corps, en raison de son prix élevé et de la difficulté de sa préparation industrielle à l'état de pureté.

Ayant été conduit à étudier les produits complexes qui se dégagent pendant la calcination des vinasses de betteraves, pour la fabrication du salin (¹), j'y ai trouvé toute une série de produits intéressants, et entre autres une quantité considérable de tri-

(¹) Les mélasses, résidus de la fabrication du sucre, sont utilisées pour la préparation de l'alcool. On les étend d'eau, on les fait fermenter, on les distille, et le résidu liquide est la *vinasse*.

méthylamine $Az(C^2H^3)^3$. Voulant utiliser cette matière alcaline très-abondante, j'ai étudié ses principales combinaisons, et en particulier son chlorhydrate. Le chlorhydrate de triméthylamine soumis à l'action de la chaleur se décompose nettement vers 295° en triméthylamine libre, chlorure de méthyle et chlorhydrate de monométhylamine, qui reste dans l'appareil; en continuant l'action de la chaleur, ce dernier se décompose à son tour en ammoniaque et en chlorure de méthyle. Les deux équations suivantes expliquent ces deux réactions successives:

$$3\,Az(C^2H^3)^3, HCl = 2\,Az(C^2H^3)^3 + 2\,C^2H^3Cl + Az(C^2H^3), H^2HCl;$$
$$Az(C^2H^3), H^2HCl = C^2H^3Cl + AzH^3.$$

Le mélange gazeux étant traité par un acide abandonne ses produits alcalins, tandis que le chlorure de méthyle reste à l'état de pureté. Ce gaz, étant desséché, est ensuite comprimé.

Il y a donc là une source abondante de chlorure de méthyle pur qui en permet de larges applications. J'ai pensé que ce produit trouverait un emploi judicieux dans les laboratoires pour produire de basses températures économiquement. On peut facilement transporter le chlorure de méthyle dans des vases métalliques relativement minces, et l'avoir en provision pour les expériences.

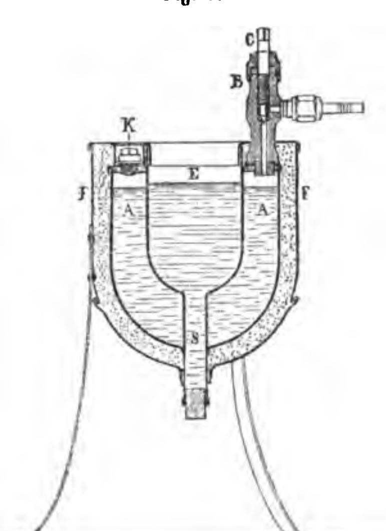
Si on le fait jaillir dans un vase ouvert, il entre aussitôt en vive ébullition pendant quelques instants, puis l'ébullition s'arrête, et l'on a alors un bain à — 23° dans lequel on peut plonger les corps à refroidir. Si l'on vient à activer l'évaporation du chlorure de méthyle par une simple injection d'air, on peut abaisser de beaucoup la température de la portion restée liquide et solidifier en quelques instants des quantités considérables de mercure. Un thermomètre à alcool plongé dans le liquide descend dans ces conditions à — 55° environ.

Ce mode opératoire, assez primitif, ne se prête pas aux exigences du laboratoire, et j'ai pensé qu'il serait utile de faire un appareil simple, peu coûteux, permettant de maintenir pendant plusieurs heures un bain de 1^{lit} environ de liquide incongelable, soit à la température constante de — 23°, soit à une température plus basse allant jusqu'à — 50°. Le frigorifère que j'ai fait construire à cet effet se compose d'un vase cylindrique en cuivre à doubles parois A

(*fig.* 1), entre les deux enveloppes duquel on peut introduire du chlorure de méthyle, à l'aide d'un robinet B formé d'une tige d'acier filetée C, terminée par un cône s'appliquant sur un siége en bronze, et que l'on peut facilement manœuvrer à l'aide d'une poignée. Une vis K, s'appliquant sur une rondelle en plomb, étant légèrement desserrée, laisse échapper l'air et permet au chlorure de se précipiter rapidement dans l'appareil.

Le chlorure de méthyle étant en provision dans un cylindre en cuivre servant à son transport, et portant un robinet à vis pareil à celui du frigorifère, on le fait facilement passer dans ce dernier appareil au moyen d'un tube en caoutchouc renforcé par des toiles. On peut introduire ainsi $2^{kg},500$ environ de chlorure dans l'appa-

Fig. 1.



reil; on verse alors dans le vase central E un liquide incongelable, de l'alcool par exemple, pour former le bain dans lequel on pourra plonger tous les corps à refroidir. Tout l'appareil est entouré de matières peu conductrices de la chaleur, telles que de la râpure de liége, maintenues par une enveloppe F, afin d'éviter l'échauffement par l'air ambiant.

Les choses étant ainsi disposées, l'appareil est prêt à fonctionner et, pour abaisser la température du bain à — 23°, il suffit alors

d'ouvrir le robinet B. Le chlorure de méthyle entrant aussitôt en ébullition, la température s'abaisse rapidement, et au bout de quelques instants le bain d'alcool se trouve à — 23°. Si l'on veut obtenir une température beaucoup plus basse, il suffit de relier le tube de sortie du frigorifique avec une forte machine pneumatique et de faire le vide. On peut ainsi faire des expériences de liquéfaction de gaz et de solidification de liquide qui exigent encore aujourd'hui l'emploi du protoxyde d'azote liquide ou de l'acide carbonique solide.

Une belle expérience que ce nouvel appareil permet de faire est la cristallisation du mercure. On la réalise en maintenant pendant quelques instants un matras plein de mercure, plongé dans le bain refroidi; puis, le retirant de temps en temps pour l'examiner, on saisit le moment où la plus grande partie du mercure est solidifiée, et l'on fait vivement écouler la portion encore liquide. On replonge aussitôt le matras dans le bain pour le refroidir davantage et l'on peut alors le retirer et l'examiner pendant quelques instants. On obtient ainsi de magnifiques cristaux brillants de mercure. A cette basse température l'alcool servant de bain est sirupeux et adhère au verre.

Si l'on se propose de refroidir un courant gazeux pour le condenser totalement ou partiellement, on peut disposer dans le vase central E un tube en U dont la partie inférieure porte un ajutage pour l'écoulement du liquide condensé. Le frigorifère porte à cet effet une gaîne S pour la sortie de l'ajutage.

Je pense que cet appareil, très-simple, d'un prix peu élevé et d'un fonctionnement facile, pourra rendre des services dans les laboratoires.

Je fais construire en ce moment des appareils de laboratoire plus complets que le précédent, qui porteront une pompe aspirante et foulante, permettant de faire le vide dans le frigorifère, de liquéfier et de faire rentrer dans l'appareil le chlorure de méthyle vaporisé.

Le chlorure de méthyle, fabriqué industriellement, est livré dans des vases en cuivre ne présentant aucun danger dans leur maniement [1].

---

[1] M. Brigonnet, fabricant de produits chimiques à Saint-Denis, fabrique le chlorure de méthyle pur par mes procédés, et le livre à l'industrie chimique au prix

Étude du spectre solaire ultra-violet; par M. A. CORNU.

L'étude des radiations solaires est l'une des branches les plus fécondes de l'optique et l'une des sources les plus précieuses de nos connaissances sur la constitution du Soleil. Bien que cette étude ait été déjà poussée fort loin par des physiciens éminents, elle offrira encore longtemps un champ fertile d'explorations et conduira à des points de vue nouveaux et à des rapprochements inattendus. C'est ce qui ressortira, je l'espère, du travail que j'ai l'honneur de soumettre à la Société.

Ce travail est la continuation du beau Mémoire d'Angström sur le *Spectre normal du Soleil* et son extension au delà du spectre visible, auquel le savant suédois s'était arrêté. Il comprend toute la partie ultra-violette de ce spectre; il est résumé par deux planches faisant suite à l'Atlas d'Angström, dans le même format et à la même échelle.

J'ai divisé ce travail en deux Parties : la première comprenant la portion du spectre ultra-violet observable avec les spectroscopes ordinaires des laboratoires munis d'objectifs et de prismes en verre; elle s'étend depuis le violet extrême, c'est-à-dire depuis la raie h' ($\lambda = 410,10$), jusqu'à la raie O ($\lambda = 343,97$); le reste des radiations est absorbé par la matière même des objectifs et des prismes. La planche qui résume ce travail a paru dans les *Annales de l'École Normale*, t. III, 1874.

La deuxième Partie, résumée par une planche actuellement en cours de gravure, s'étend depuis la raie O jusqu'à l'extrémité ultra-violette observable photographiquement à l'aide d'un spectroscope dont les objectifs sont en quartz et le prisme en spath d'Islande : cette limite correspond à la raie U ($\lambda = 294,80$).

Les raies sombres du spectre solaire sont, comme dans l'ensemble du Mémoire, rangées suivant l'échelle *normale*, c'est-à-dire par

de 4^{fr} le kilogramme, dans des cylindres en cuivre en renfermant $2^{kg},500$, 25^{kg} ou 100^{kg}; il livrera cependant au même prix aux laboratoires, même pour $2^{kg},500$. MM. Crespin et Marteau, ingénieurs-constructeurs à Paris, construisent les appareils frigorifères.

ordre de longueur d'onde. J'ai été assez heureux pour étendre d'une manière notable la partie déjà décrite de ce spectre. Les déterminations des longueurs d'onde des raies principales n'ont pas été sans présenter de grandes difficultés, à cause de la faiblesse des radiations de grande réfrangibilité. J'ai toutefois réussi à obtenir celles des raies O, P, Q, R, *r* et S avec la lumière solaire directe, en opérant par réflexion sur un réseau tracé sur verre.

Pour les radiations plus réfrangibles, trop faibles dans la lumière solaire pour être utilisées dans ces déterminations, après m'être assuré de la coïncidence des raies sombres de cette région du spectre solaire avec les raies du spectre de l'étincelle du fer (cette coïncidence peut s'établir qualitativement avec une perfection bien supérieure à l'approximation des mesures), j'ai déterminé les longueurs d'onde de ces raies avec la plus grande facilité.

Voici les valeurs qui ont servi de repères pour la construction des planches de la deuxième partie du spectre ultra-violet :

Raie	O.....	$\lambda = 343,97$	Raie	*r*.....	$\lambda = 314,42$
»	P.....	335,93	»	S_2.....	309,95
»	Q.....	328,49	»	T.....	301,97
»	R.....	317,90	»	U.....	294,80

Les valeurs relatives aux quatre premières raies s'accordent très-bien avec celles de M. Mascart, dont j'ai d'ailleurs adopté les notations jusqu'à la raie S ; au delà, la faiblesse de l'impression photographique, qui avait empêché M. Mascart de pousser plus loin que R la détermination des longueurs d'onde, se fait sentir dans le dessin que cet habile physicien a donné comme résumé de son travail, du moins dans la partie voisine de la limite observable.

Ainsi déjà la raie S donnée comme simple est au moins double ; aussi ai-je préféré adopter comme repère la grosse raie immédiatement contiguë ; elle est cependant triple, mais elle est très-précieuse, parce que ses trois composantes sont égales et équidistantes ; de plus elle correspond exactement à une raie très-brillante du spectre de la vapeur de fer, qui, dans l'arc électrique, se résout en trois raies excessivement nettes. En nommant S_2 ce groupe, il n'y aura aucune confusion possible.

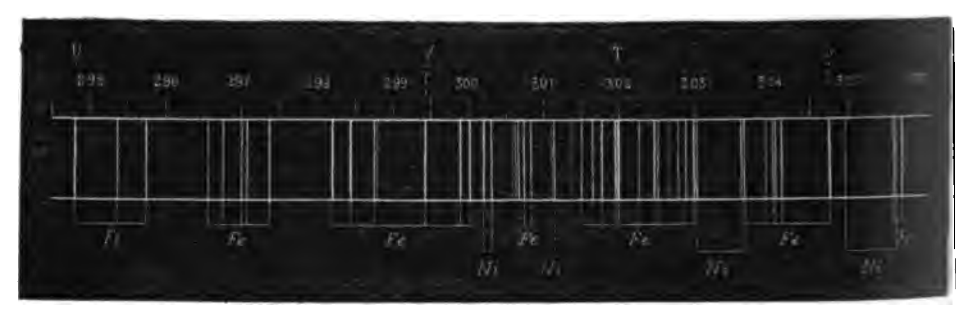
Quant à la raie T, qui forme la limite de la région observée par M. Mascart, je n'ai pu établir avec certitude la correspondance de

son dessin avec mes clichés ; j'ai donc donné ce nom à une très-grosse raie double dont l'importance est plus considérable, et qui a de plus l'avantage, comme la raie S_2, de correspondre à une raie double très-brillante du spectre de la vapeur de fer.

Enfin, à la limite de la région que j'ai pu observer, se rencontre une raie sombre correspondant aussi à une raie importante du fer, et pour laquelle je propose provisoirement la dénomination de U.

Pour rendre plus claire cette description de la partie nouvelle du spectre ultra-violet, voici un dessin comprenant les raies simples principales, celles qui donnent à cette partie du spectre sa physionomie propre.

Fig. 1.



Cette figure est extraite du dessin détaillé dont il a été question plus haut ; elle commence à la raie que je propose de nommer *s*, à cause de la facilité avec laquelle elle se distingue des autres entre les raies S et T, et se termine à la limite de visibilité du spectre solaire.

Cette limite ne dépend plus, comme dans le cas des spectroscopes ordinaires construits en crown-glass ou en flint-glass, du pouvoir absorbant des milieux transparents employés, puisque l'appareil est construit en quartz et en spath d'Islande. On s'en assure aisément par l'observation photographique des radiations brillantes des spectres métalliques dont la réfrangibilité s'étend extrêmement loin. Pour fixer les idées, on sait qu'avec un prisme de spath d'Islande (rayon ordinaire) d'un angle de 60° on peut observer des radiations déviées de plus de 70° ; avec les radiations solaires, les impressions photographiques cessent d'être visibles pour une déviation d'environ 60°.

D'où vient cette limitation du spectre solaire dans la région ultra-violette? Une série d'études préliminaires m'a permis de reconnaître la cause de cette limitation spontanée du spectre solaire et de déterminer les conditions les plus favorables à l'extension de cette limite. Cette cause n'est autre que l'absorption atmosphérique; il suffit, en effet, d'observer méthodiquement l'impression photographique du spectre solaire ultra-violet pendant toute une journée pour reconnaître que l'étendue du spectre varie dans le même sens que la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon. L'expérience montre que le maximum d'étendue se présente entre 11^h du matin et $1^h\,30^m$ de l'après-midi.

Comme on devait s'y attendre, c'est à l'époque du solstice d'été qu'on obtient le *maximum maximorum* d'étendue du spectre : c'est par des observations effectuées à cette époque de l'année que j'ai pu étendre jusqu'à la raie U la description du spectre représenté ci-dessus; mais ce qu'on ne pouvait guère prévoir, c'est l'étendue du spectre qu'on obtient encore en hiver, même dans l'atmosphère embrumée de Paris, à l'époque du solstice d'hiver; des clichés obtenus récemment ont donné, un peu après-midi, des impressions photographiques qui atteignent presque la raie T.

Il résulte de ces faits la conséquence très-curieuse, qu'à égalité de hauteur du Soleil, le spectre solaire observé est notablement plus étendu en hiver qu'en été.

Ce résultat s'explique d'une manière très-simple, si l'on attribue à la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère le pouvoir absorbant qui limite le spectre solaire ultra-violet. En effet, la quantité de vapeur d'eau contenue par mètre cube dans l'atmosphère est beaucoup plus grande en été qu'en hiver. Si l'on adopte l'état hygrométrique moyen 0,75, la pression moyenne 760 millimètres, la température zéro pour le solstice d'hiver et 30° pour la température moyenne à midi au solstice d'été, on trouve respectivement $3^{gr},6$ et $25^{gr},0$, c'est-à-dire qu'il existe près de sept fois plus de vapeur d'eau dans les basses régions de l'atmosphère terrestre en été qu'en hiver.

Cette action de la vapeur d'eau sur les radiations solaires a d'ailleurs été invoquée par plusieurs physiciens (Angström, Janssen) dans l'étude du spectre visible, pour l'explication des raies et bandes désignées quelquefois sous le nom de *raies atmo-*

phériques. Dans le spectre ultra-violet, cette absorption ne paraît pas localisée sous forme de raies ou de bandes; l'action est continue sans maxima appréciables.

Il reste à dire quelques mots des autres perfectionnements expérimentaux qui m'ont permis d'aller plus loin que mes devanciers, comme étendue du spectre et comme finesse de détails; en voici l'énumération :

1° La substitution d'un prisme à réflexion totale en quartz, au miroir métallique de l'héliostat;

2° Le calcul rationnel des courbures des lentilles de quartz du spectroscope, par la condition de donner le minimum d'aberration pour une grande ouverture angulaire $(\frac{1}{10})$;

3° L'égalité d'épaisseur et le signe contraire du pouvoir rotatoire des deux lentilles de quartz : on compense ainsi certaines aberrations;

4° La perfection de taille des faces du prisme de spath d'Islande;

5° L'emploi d'une lentille de quartz concentrant les rayons solaires sur la fente du spectroscope : cette addition, loin de troubler les images, comme cela a lieu lorsque l'aplanétisme des diverses parties du spectroscope, ou leur réglage optique, n'est pas très-complet, apporte un accroissement considérable dans l'intensité des impressions photographiques et une grande perfection de détails, parce qu'on peut resserrer la fente sans cesser d'avoir l'éclat nécessaire à la formation des clichés.

Cette description des raies sombres du spectre solaire a été complétée par l'étude comparative des raies brillantes des vapeurs métalliques : les résultats obtenus me paraissent d'un grand intérêt au point de vue de l'Astronomie physique.

On sait que dans le spectre visible du Soleil la presque totalité des raies sombres correspond exactement à des raies brillantes des spectres des vapeurs métalliques; ce renversement dans l'apparence des raies n'est qu'un effet de contraste et s'explique par l'existence sur le Soleil d'une couche de vapeurs à une température relativement basse, absorbant partiellement les radiations du spectre continu d'un fond plus brillant. L'étude comparative de ces spectres a constitué une vraie méthode d'analyse qualitative et a conduit à

mettre hors de doute l'existence sur le Soleil d'un certain nombre d'éléments chimiques terrestres.

L'extension de cette étude aux raies sombres du spectre ultra-violet, en agrandissant le champ de comparaison, m'a permis d'aller plus loin dans cette voie, et d'aborder, jusqu'à un certain point, l'analyse quantitative des éléments de cette couche absorbante, à l'action de laquelle les raies sombres du spectre solaire sont attribuées. Voici le résumé de cette étude :

On remarque tout d'abord que les groupes de raies intenses sont inégalement répartis sur toute l'étendue du spectre solaire : la partie la moins réfrangible n'en contient à peu près aucun (en mettant à part les bandes et raies atmosphériques) ; ce n'est qu'à partir du bleu indigo que commencent les groupes sombres dont le groupe G est un type ; on rencontre ensuite les deux raies H, K, larges et estompées, qui se détachent sur un fond relativement clair, puis les groupes très-sombres LMNOP; au delà vient un espace plus clair encore, sur lequel se détache la raie Q, puis les groupes voisins de R et de *r*; un nouvel espace assez brillant conduit aux groupes sombres STU.

L'examen comparatif des spectres des vapeurs métalliques montre de prime-abord que ces masses de raies sombres correspondent en général aux raies brillantes du spectre de la vapeur de fer qui comprend à lui seul la presque totalité des groupes GLMNOQSTU et plusieurs des groupes voisins de R.

Les deux grosses raies H et K correspondent au calcium, ainsi que deux raies analogues constituant R et le groupe compris entre R et *r*.

C'est au nickel que se rapportent la plupart des raies importantes, comprises entre O et P, ainsi qu'un nombre très-notable de raies dans la région STU (*voir* la figure précédente).

Les autres métaux magnétiques, cobalt, manganèse, chrome, fournissent des raies de moindre importance ; le titane présente un très-grand nombre de coïncidences, mais avec des raies en général très-faibles, excepté entre Q et R où leur importance est plus grande ; l'étain offre des coïncidences qui, malgré leur petit nombre, paraissent non équivoques.

Le magnésium fournit quatre raies triples d'apparence identique, que je nommerai *b* (Fraunhofer) dans le vert, *b'* entre K et L, *b''*

entre P et Q, et b''' entre S et T; elles sont, à l'exception de b'', qui est relativement faible dans le spectre du magnésium, très-intenses dans le spectre solaire.

L'aluminium donne deux raies fort nettes entre H et K, et deux autres analogues entre S et T. Le sodium qui produit la raie D du spectre visible ne donne, dans l'ultra-violet, qu'une raie double assez pâle entre P et Q. Enfin le glucinium paraît être représenté par quelques raies faibles.

Tels sont, en y joignant l'hydrogène qui donne quatre raies sombres CFG′ (près de G) et *h*, les éléments chimiques fournissant les coïncidences les plus remarquables avec les raies du spectre solaire.

Le caractère général des groupes de raies sombres du spectre solaire correspondant à un même métal est de présenter une intensité relative tout à fait en rapport avec l'éclat des raies brillantes correspondantes du spectre métallique : il y a donc une véritable proportionnalité entre le pouvoir émissif des vapeurs métalliques incandescentes et leur pouvoir absorbant, ce qui est d'ailleurs la base de l'explication du renversement des raies solaires (Foucault, Angström, Stockes, Kirchhoff). Si l'on joint à cette remarque la considération de l'éclat intrinsèque moyen du spectre de chaque élément chimique dans les régions à comparer, on arrive à conclure que l'intensité des raies sombres du spectre solaire est caractéristique de la quantité relative des différentes vapeurs métalliques qui, à la surface du Soleil, sont la cause de ces raies sombres. L'établissement d'une méthode d'analyse quantitative fondée sur ces considérations exigerait encore bien des efforts; mais, si l'on cherche seulement à se rendre un compte approché de la composition de cette couche absorbante qui forme l'enveloppe extérieure du Soleil, les observations présentes suffisent pour une première approximation.

Dans cette manière de voir, la vapeur de fer serait de beaucoup plus abondante, à cause du nombre et surtout de l'intensité des raies sombres qui lui correspondent dans le spectre solaire.

Le nickel et le magnésium viendraient en second lieu; le calcium, dont le spectre possède un éclat intrinsèque si grand pour les deux raies HK qui le caractérisent, doit entrer dans une proportion moindre que l'intensité de ces raies ne pourrait le faire

supposer; viennent ensuite l'aluminium, le sodium et l'hydrogène, enfin le manganèse, le cobalt, le titane, le chrome et l'étain.

Telle serait approximativement la liste, par ordre de quantité, des éléments volatilisés à la surface du Soleil. En examinant cette liste, où le fer, le nickel et le magnésium jouent un si grand rôle, on est immédiatement frappé de l'analogie de cette composition avec celle des aérolithes, dont la majeure partie est formée de fer allié à $\frac{1}{10}$ de nickel : dans les fers météoriques, cet alliage est presque pur; dans les météorites pierreuses, le fer nickelé est mêlé à des silicates magnésiens de compositions diverses.

Cette étude du spectre conduit donc à la conclusion suivante : *La position et l'éclat relatif des raies sombres du spectre solaire s'expliquent par l'action d'une couche absorbante existant sur le Soleil, couche dont la composition serait analogue à celle d'aérolithes volatilisés.*

Les conséquences de ce fait, révélé par l'analyse spectrale des radiations solaires, touche d'une manière si directe aux grands problèmes de la Physique cosmique et de l'Astronomie, qu'il me paraît utile de les indiquer, avec toute la réserve que comporte d'ailleurs un sujet aussi délicat.

1° *Probabilité d'une action magnétique directe sur le Soleil.* — Si la couche extérieure du Soleil contient, comme les aérolithes, une proportion considérable de vapeurs de fer, la masse absolue de ce métal répartie sur la surface du Soleil doit être très-grande, vu l'énorme diamètre de cet astre, et doit exercer une action appréciable sur les phénomènes magnétiques terrestres.

On pourrait objecter que le fer, porté à l'incandescence, perd son action attractive sur l'aiguille aimantée; cette diminution rapide avec la température a, en effet, été constatée, mais il n'est aucunement prouvé que ce qui reste de pouvoir magnétique soit rigoureusement nul; il suffirait que le magnétisme spécifique de la vapeur de fer fût de l'ordre de l'attraction newtonienne, pour que l'action magnétique de la masse ferrugineuse du Soleil fût encore très-appréciable sur la Terre.

Dans cette manière de voir, les variations diurnes de l'aiguille aimantée seraient dues à l'action magnétique directe du Soleil. Cette opinion, d'ailleurs, n'est pas nouvelle; elle a été soutenue par des physiciens éminents, en particulier par le général Sabine,

dans sa belle publication des observations magnétiques organisées par lui à la surface du globe. La relation des variations moyennes avec la position du Soleil aux diverses heures du jour et aux différentes latitudes ressort, avec une évidence manifeste, de la discussion des observations. Par des considérations d'un tout autre ordre, la spectroscopie apporte une confirmation de cette opinion.

2° *Probabilité en faveur de l'hypothèse de l'aimant terrestre.* — La présence d'une quantité considérable de fer dans la composition du Soleil conduit à se demander si cette particularité est purement accidentelle ou si tous les corps du système solaire (et peut-être tous les corps sidéraux) n'auraient pas une origine commune qui se révélerait par la présence, dans une proportion notable, de fer que le spectroscope a décelé dans l'enveloppe extérieure du Soleil.

Le globe terrestre présente en faveur de cette idée un argument bien sérieux : en effet, la densité moyenne du globe, égale à 5,5, est le double à peu près de la densité moyenne des éléments qui en forment le croûte superficielle : on est donc forcé d'admettre, vu la haute température probable des couches intérieures, que la partie centrale de la Terre est constituée par des matières beaucoup plus denses que les matériaux pierreux, conséquemment par des masses métalliques. Si, d'autre part, on considère la force directrice de l'aiguille aimantée sur les différents points du globe et la symétrie approchée de l'ensemble de ses positions avec certains grands cercles de la sphère terrestre, on est amené à conclure avec avec une grande probabilité que les masses métalliques du centre de la Terre sont constituées, en proportion notable, par du fer métallique.

Notre satellite exerce aussi sur l'aiguille aimantée une action assez faible, il est vrai, mais qui paraît non équivoque : on pourrait donc voir dans cette action une preuve de l'existence du fer dans la composition moyenne de cet astre.

Enfin la profusion des aérolithes dans notre système planétaire tendrait à confirmer l'idée d'une commune origine de tous les corps célestes (hypothèse cosmogonique de Laplace) et à faire voir dans ces aérolithes le type de la *matière cosmique élémentaire*.

3° *Probabilité en faveur de l'origine électrique de la lumière émise par les protubérances solaires.* — Les conséquences précé-

dentes se déduisent de la présence pour ainsi dire *statique* de masses magnétiques à la surface du Soleil. Examinons ce qui peut arriver si ces masses sont à l'état de mouvement. Cet état de mouvement existe, ainsi que le prouvent les observations directes de cet astre, et la cause de cet état dynamique réside évidemment dans la chaleur des couches inférieures et dans le refroidissement des couches externes; car, quelque soit le mécanisme de ces mouvements, les conditions thermodynamiques nécessaires à la transformation de la chaleur en force vive sont remplies. Si l'on fait intervenir la condition que certaines parties de ces masses de vapeurs en mouvement sont magnétiques, on voit apparaître la nécessité d'un phénomène secondaire qui semble devoir jouer un rôle important, à savoir la production de courants d'induction dans les masses conductrices avoisinantes, soit en repos, soit animées d'autres mouvements que celles-ci. Il en serait absolument de même si les masses en mouvement relatif, au lieu d'être magnétiques, étaient électrisées par une cause quelconque, en particulier par quelque action chimique.

Quoi qu'il soit actuellement presque impossible de préciser le mécanisme de ces transformations et d'assigner *a priori* l'extension et l'énergie de ces phénomènes secondaires, les conditions thermodynamiques sont si favorables, qu'on doit leur supposer une très-grande intensité, et prévoir que certains points au moins de la surface solaire sont le siége de mouvements rapides, et que les masses gazeuses voisines reçoivent, par la propagation des courants induits, un accroissement notable de leur degré d'incandescence.

L'observation des protubérances, tangentiellement au disque solaire, nous révèle précisément l'existence de couches gazeuses dont l'éclat décèle une incandescence plus énergique que celle qui correspondrait à leur position : l'analyse de leur lumière montre que leur spectre est identique à celui de l'hydrogène très-raréfié rendu incandescent par une décharge électrique. La similitude spectrale est complète, tant pour l'éclat relatif des raies brillantes que pour leur netteté décroissant avec la réfrangibilité. Ces protubérances, qui apparaissent dans le voisinage des facules et des taches, ne représenteraient-elles pas ces masses gazeuses traversées par les courants d'induction dans le voisinage des régions magnétiques ou électriques en mouvement rapide?

Cette assimilation aurait l'avantage de faire rentrer dans les conditions thermodynaniques ordinaires l'explication des protubérances, en les présentant comme l'équivalent de l'illumination par induction des masses gazeuses raréfiées, illumination qui se reproduit si aisément dans nos laboratoires avec les plus faibles actions mécaniques. On comprendrait alors la rapidité de l'extension de ces protubérances, leur disparition subite aussi bien que leur permanence accidentelle, sans avoir recours à l'hypothèse de ces jets gazeux doués de vitesses invraisemblables atteignant plusieurs centaines de kilomètres par seconde. Je dois ajouter que l'hypothèse de vitesses si extraordinaires a déjà été critiquée par M. Fizeau, qui a signalé l'analogie probable du phénomène lumineux des protubérances avec celui que présentent sur notre globe les aurores boréales.

Quelques-unes des conclusions précédentes sembleront peut-être prématurées; je les soumets néanmoins avec confiance à l'examen des physiciens et des astronomes, comme le résumé d'un ensemble de faits très-étendus que l'exiguïté de la présente Note ne m'a pas permis de développer (1).

Expériences sur les téléphones Bell et les téléphones à ficelle; par M. Antoine Bréguet.

Les membranes de fer doux ou de tôle mince, qui sont employées dans la construction des téléphones Bell, ont généralement $\frac{1}{3}$ de millimètre d'épaisseur. Lorsque ces plaques doivent avoir $0^m,06$ ou $0^m,07$ de diamètre, on peut sans inconvénient accroître leur épaisseur, afin qu'elles présentent toujours assez de rigidité pour ne pas se déformer sous l'action attractive du barreau aimanté. En somme, ces membranes pour un diamètre donné ne doivent pas être assez minces pour arriver à se coller sur l'extrémité de l'aimant, car elles y demeureraient immobiles sous l'influence des variations de magnétisme développées par l'appareil transmetteur.

---

(1) Voir *Comptes rendus*, t. LXXIII, p. 332, 1878; t. LXXIV, p. 390, 1872; t. LXXXIII, p. 1172, 1876; *Annales de l'École Normale*, 1874.

Curieux d'examiner ce qui se produirait si l'épaisseur des plaques était augmentée, je me servis de disques de fer doux, dont l'épaisseur variait de $0^m,001$ à $0^m,01$. Je constatai alors que le son transmis, bien que notablement diminué, était toujours perçu par l'oreille.

Dans ces expériences, je n'employai pas les sons de la voix humaine pour actionner le téléphone transmetteur. Ces sons eussent été trop intenses, et sujets à de trop grandes variations, pour permettre de tirer des conclusions certaines. J'avais disposé un aimant armé de sa bobine, c'est-à-dire un téléphone sans plaque, en présence de l'une des branches d'un diapason vibrant à la Mercadier. De cette façon, cette branche d'acier animée d'un mouvement de va-et-vient, développait dans le barreau aimanté des variations de magnétisme en nombre égal à celui de ses vibrations. Le téléphone récepteur rendait ainsi la note correspondant à ce nombre de vibrations. Je dois dire en passant que ce dispositif m'avait été inspiré par celui de l'avertisseur téléphonique de M. Blondlot, dont je donnerai plus loin la description.

Après avoir employé des disques de fer, je plaçai au-dessus du barreau récepteur des morceaux de fer doux, de formes irrégulières, et réussis à entendre la note du diapason, à travers une épaisseur de plus de $0^m,15$.

En superposant au fer du bois, du caoutchouc, et en général des substances quelconques, je ne cessai pas de percevoir le son. Ce n'est pas l'expérience de Page que l'on peut invoquer ici comme explication du phénomène, car sans fer doux je ne pus rien percevoir; l'aimant et la bobine ne suffisaient donc pas à donner naissance au son, dans les conditions où j'étais placé.

Mais chaque changement de l'état magnétique du barreau produisait dans une masse de fer voisine un ébranlement magnétique qui se transformait lui-même en un ébranlement mécanique, et ce dernier se propageait alors par diffusion dans toutes les substances faisant corps avec la masse de fer.

J'ai pensé ensuite que, en vertu de l'égalité de l'action et de la réaction, on devait percevoir des sons par le barreau aimanté du téléphone comme par la plaque de fer doux. L'expérience m'a donné raison. Ainsi tous les points d'un téléphone, aussi bien le manche, les bornes de cuivre, la coquille, etc., que la plaque peuvent servir à faire entendre des sons.

Pour mettre ce fait en évidence, j'ai employé l'appareil dit *téléphone à ficelle*. J'ai pris pour point d'attache du fil un point quelconque de l'aimant ou de la membrane, et dans ce dernier cas, j'ai pu entendre distinctement, même des phrases prononcées dans le téléphone transmetteur.

Comme il est facile de relier à des points quelconques d'un téléphone Bell, un certain nombre de cornets à ficelle, un nombre égal de personnes peut entendre, comme une seule personne pouvait le faire jusqu'ici, ce qui se dit à l'autre station dans un appareil Bell ou dans des cornets qui soient solidaires avec lui.

Afin de rendre le téléphone à ficelle plus pratique qu'il ne l'était, j'ai cherché à lui donner la possibilité de subir des supports, afin de soutenir de place en place une grande longueur de fil en ligne droite, et aussi afin de pouvoir faire tracer des angles au même fil.

J'ai atteint ce but avec facilité en fixant au centre d'une membrane de parchemin le sommet des angles formés par deux ou plusieurs ficelles. Le son porté par l'une d'elles se propage alors dans toutes les autres.

Si l'on fait passer le fil au travers du centre des membranes, celles-ci serviront de supports pour les longues portées rectilignes; je crois m'être rencontré avec M. Lartigue pour cette dernière disposition.

J'ai aussi employé de véritables relais pour atteindre au même but, en faisant aboutir les fils à des membranes qui fermaient les deux ouvertures d'un cylindre de laiton. Ce cylindre joue le rôle d'un tube acoustique ordinaire. Sa courbure peut être quelconque: on peut donc ainsi réaliser également des supports et franchir des angles.

Si j'ai insisté un peu longuement sur ces téléphones à ficelle, jusqu'ici considérés seulement comme jouets d'enfant, c'est que je crois qu'à l'aide des membranes à angles et des membranes relais, ils peuvent dans des cas spéciaux rendre service dans une certaine mesure.

Installés avec quelque soin, ils peuvent servir à correspondre entre des points éloignés de plus de 100^m. On aura toujours sous la main du carton pour les cornets, du papier fort pour les membranes, et des ficelles pour les conducteurs. Si donc, dans un

endroit sans ressources, comme un fort investi par exemple, on sent le besoin de faire communiquer deux postes entre eux, on voit qu'il existe un moyen bien facile de le faire. De même dans un chantier de constructions, une usine, on peut désirer une communication momentanée entre deux chefs d'équipe, deux contre-maîtres. Le téléphone à ficelle peut alors être d'un usage efficace.

Un avertisseur qui puisse produire assez de bruit pour se faire entendre à plusieurs mètres de distance est évidemment l'accessoire indispensable à toute installation téléphonique.

M. Blondlot a cherché à réaliser un tel instrument, sans faire usage d'aucune pile, en s'appuyant sur le principe même du téléphone de Bell, adapté, au moyen de modifications convenables, à ce problème particulier : *transmettre avec le plus d'intensité possible un son simple quelconque.* Voici la disposition de son appareil.

Un aimant ordinaire en fer à cheval est recourbé à ses extrémités polaires, de façon que celles-ci se regardent. Sur chacune de ces extrémités est placée une bobine de téléphone. Les fils de ces bobines sont reliés convenablement entre eux, et se trouvent dans le circuit des fils de ligne des téléphones.

D'autre part, un diapason quelconque (un *la* du commerce) est aimanté de façon à offrir un pôle à l'extrémité de chacune de ses branches. L'espace interpolaire de l'aimant est de $0^m,002$ ou $0^m,003$ plus large que l'écartement extérieur des branches du diapason. On peut donc fixer celui-ci de façon que ses pôles se trouvent entre ceux de l'aimant, les pôles en présence étant respectivement de nom contraire, et suffisamment éloignés pour que le diapason ait la possibilité de vibrer. Si nous ajoutons à ce dispositif un petit marteau destiné à ébranler le diapason, nous aurons réalisé tout l'appareil avertisseur.

Le récepteur n'est en effet que le téléphone de l'autre station. Toutefois, afin d'augmenter l'intensité du son perçu, ce téléphone se trouve placé, au repos, au-dessus d'un cylindre résonnateur accordé à la note du diapason.

Les choses ainsi disposées, si A veut parler à B, il frappe sur son diapason ; le son de celui-ci se transmet au téléphone de B, et si ce téléphone est placé sur son résonnateur, la note est renforcée

et éveille l'attention de B qui, ainsi prévenu, porte le téléphone à son oreille, et écoute ce qui lui est dit.

Le signal peut être perçu à une distance de 10^m à 12^m.

Dans les essais qui ont conduit M Blondlot à la disposition définitive de son appareil, j'ai pu entendre facilement la note envoyée, dans tous les points d'une grande salle du laboratoire de M. Jamin à la Sorbonne.

MM. Weinhold et Lorenz ont réalisé, à peu près en même temps que M. Blondlot, un avertisseur qui présente de grandes analogies avec celui que nous venons de décrire; mais il est pourtant moins simple, en ce sens que le résonnateur est invariablement fixé à un téléphone, et que par conséquent il faut avoir recours à un nouveau téléphone pour correspondre.

SÉANCE DU 1er MARS 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Bardy, directeur du laboratoire central des contributions indirectes; Bischoffsheim (Raphaël-Louis); Charles, directeur des ateliers des lignes télégraphiques, à Paris; Dufet, professeur au lycée Saint-Louis; Werlein, constructeur d'instruments d'optique.

M. Bertin présente, au nom de M. Duboscq, quelques applications nouvelles qu'a faites ce dernier de son dispositif général pour la projection de phénomènes se produisant dans un plan horizontal. Il s'agit ici d'objets opaques. M. Bertin montre comment M. Duboscq parvient à les éclairer suffisamment, et à renvoyer ensuite leur image sur le tableau.

M. Duboscq fait ensuite, sous les yeux de la Société, les expériences suivantes :

1° L'expérience d'Arago, dans laquelle un barreau aimanté hori-

zontal est entraîné par le mouvement de rotation d'un disque de cuivre placé parallèlement au-dessous de lui.

2° Si le disque est coupé, le mouvement du barreau n'a plus lieu.

3° Réciproquement la rotation du barreau entraîne celle du disque.

4° Des fragments de camphre déposés sur une couche d'eau y prennent un mouvement de rotation rapide, qu'arrête instantanément la présence d'un corps gras.

5° Si un mouvement synchrone de période convenable est produit normalement en certains points d'une surface de mercure, il s'y produit un régime permanent d'ondes dont la forme dépend du contour du vase et de la position des centres d'ébranlement.

M. Duboscq, se servant d'un diapason entretenu électriquement, montre successivement le phénomène avec un vase de forme elliptique ébranlé en un foyer, de forme circulaire, ébranlé soit au centre ou en un point quelconque, et enfin, de forme carrée avec deux centres d'ébranlement.

M. Mercadier annonce à la Société qu'en cherchant à produire des interruptions de courant au moyen du contact d'un corps solide et d'une surface liquide de mercure, il a observé des phénomènes qui l'ont amené à reprendre l'étude de la vitesse des ondes à la surface d'un liquide. Il énonce quelques-uns des résultats nouveaux qu'il a déjà obtenus et promet de les compléter dans une prochaine séance.

M. A. Bréguet fait part d'une expérience qu'il a récemment tentée et qui consiste à utiliser la réversibilité des phénomènes électrocapillaires, étudiés par M. Lippmann, à la construction d'un nouveau téléphone.

M. le Secrétaire général donne lecture d'une lettre adressée par M. Yvon, sur la production des sons musicaux au moyen d'un courant électrique interrompu.

M. Javal expose les débuts d'un travail, dans lequel il se propose d'étudier l'influence de la forme des caractères d'imprimerie sur le développement de la myopie. Il résume les phases principales par lesquelles ces formes ont passé à travers les âges. Après avoir fait la part de l'hérédité et des différentes causes locales, il serait disposé à attribuer à l'usage des caractères gothiques, si peu

distincts souvent les uns des autres, la proportion considérable de myopes que l'on rencontre en Allemagne.

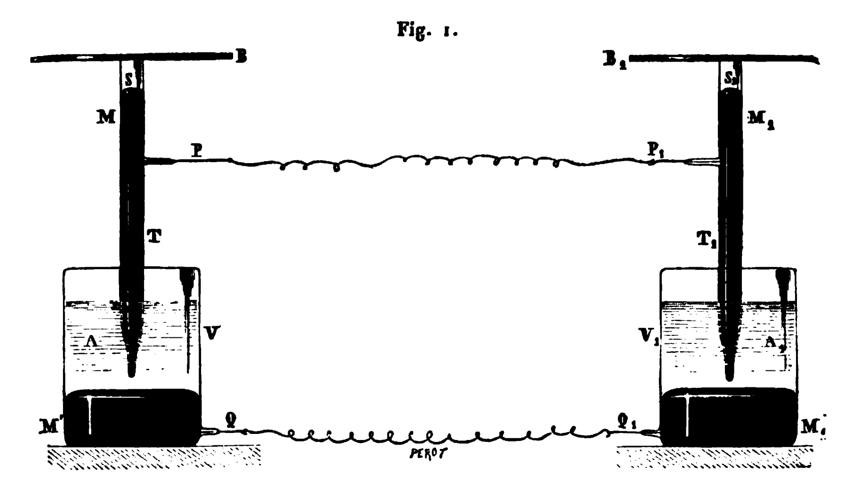
Sur un nouveau téléphone, dit téléphone à mercure, par M. Antoine Bréguet.

La pointe d'un tube capillaire T, contenant du mercure M, plonge dans un vase V. Dans ce vase se trouve une couche de mercure MM', surmontée d'eau acidulée A, de façon que la pointe capillaire ne pénètre pas dans la couche de mercure, mais seulement dans l'eau acidulée.

Deux fils de platine P et Q communiquent respectivement avec le mercure M et le mercure M'.

Si ces deux fils sont réunis entre eux, le niveau du mercure dans le tube capillaire s'établira à une hauteur invariable. Mais, si l'on

Fig. 1.



interpose dans le circuit des fils de platine une source électrique, le niveau prendra une autre position d'équilibre dépendant du potentiel de cette source, comme l'a démontré M. Lippmann.

En résumé, à chaque différence de potentiel correspondra un niveau déterminé de la surface inférieure du mercure. Au-dessus

du mercure M se trouve une masse d'air S dont la pression variera évidemment toutes les fois que le niveau du mercure variera lui-même.

L'appareil que je viens de décrire est réversible, c'est-à-dire que si, par une modification de la première en S; le niveau du mercure subit un déplacement, une différence de potentiel ou, en d'autres termes, une force électromotrice s'établira dans les deux conducteurs P et Q.

J'accouple maintenant ensemble deux appareils semblables, en faisant communiquer les fils P et P_1, Q et Q_1, ainsi que le montre la figure. J'exerce une pression en S) une force électromotrice, dépendant de la valeur de cette pression, prendra naissance dans ce circuit, et cette force électromotrice produira un changement dans le niveau du mercure M_1 du second appareil. La pression en S_1 sera par conséquent modifiée.

On conçoit que, en s'appuyant sur les phénomènes que je viens d'exposer, on puisse réaliser un télégraphe et en particulier un téléphone.

Si l'on parle au-dessus du tube T, l'air contenu dans ce tube entre en vibration. Ces vibrations sont communiquées au mercure, qui les traduit en variations de force électromotrice, et ces variations engendrent dans l'appareil récepteur des vibrations exactement correspondantes de la masse d'air S_1, de sorte que, si l'oreille se trouve placée au-dessus du tube T_1, on entendra toutes les paroles prononcées dans le tube T.

Au lieu de profiter des déplacements du mercure, on peut profiter des déplacements de son enveloppe de verre, qui présente moins de masse que lui. On se trouve donc en face d'un problème analogue à celui que j'avais déjà étudié dans le téléphone Bell, lorsque j'avais expérimenté des plaques de fer doux de diverses épaisseurs ([1]). Il est clair, en effet, que le rapport des deux masses attirantes et attirées doit être aussi différent que possible, afin de considérer l'une des deux masses comme immobile, et, par conséquent, l'autre masse comme animée d'un déplacement maximum.

Si donc on veut entendre, par l'enveloppe de verre, la masse de

(1) *Voir* p. 34.

celle-ci doit être négligeable par rapport à la masse du mercure. Si l'on veut écouter au moyen du mercure, le rapport des masses doit être renversé.

Je terminerai par la remarque suivante : Deux appareils à mercure accouplés, comme l'indique la figure, sont absolument corrélatifs, en ce sens que même des positions *différentes* d'équilibre de la surface du mercure dans l'un d'eux produisent des positions *différentes* d'équilibre dans l'appareil opposé. On peut donc reproduire à distance, sans pile, non-seulement des indications fidèles de mouvements pendulaires, comme le fait le téléphone de Bell, mais encore reproduire l'image exacte des mouvements les plus généraux.

Appareil destiné à produire des sons musicaux et autres au moyen d'un courant interrompu ; par M. P. Yvon.

Paris, le 1er mars 1878.

« Monsieur le Président,

» J'ai l'honneur de porter à la connaissance de la Société de Physique les faits suivants :

» En 1867, j'ai construit un instrument destiné à produire des sons musicaux et autres au moyen d'un courant électrique interrompu. Je n'ai, faute de relations suffisantes, présenté cet instrument qu'en 1873 à la Société d'Émulation pour les sciences chimiques, physiques et pharmaceutiques, ainsi que l'atteste le compte rendu annuel publié par le Secrétaire général (*Répertoire de pharmacie*, n° 1 du 10 janvier 1874).

» L'instrument se compose d'une tige de fer doux, rigide et fixée solidement, par un seul point ou dans toute sa longueur. Devant une des extrémités de cette tige, perpendiculairement ou suivant le prolongement de son axe se trouve un électro-aimant. Ces deux pièces doivent être assez solidement fixées pour qu'elles ne puissent éprouver aucun déplacement lors du passage du courant.

» Si l'on vient à lancer dans les spires de l'électro-aimant un courant interrompu, il se produit des sons musicaux d'une grande

intensité. On peut disposer sur le même appareil un certain nombre de tiges munies chacunes de leur électro-aimant et obtenir ainsi une série de sons différents.

» La production de ces sons est subordonnée aux conditions suivantes :

» 1° Il doit y avoir un certain rapport entre la force de l'électro-aimant et la masse de fer doux à mettre en vibration.

» 2° Lorsqu'on fait varier la distance qui sépare la tige de fer doux de l'extrémité libre de l'électro-aimant, on observe une augmentation ou une diminution dans l'intensité du son. A une certaine distance correspond un maximum d'intensité.

» 3° La rapidité des interruptions augmente surtout l'intensité du son; mais influe peu sur sa hauteur.

» 4° Le contact de la tige avec le pôle de l'électro-aimant fait cesser le son.

» 5° Les vibrations produites sont transversales.

» 6° Ces vibrations se transmettent avec la plus grande facilité par les corps sur lesquels repose l'instrument ou ceux qui sont en contact avec lui.

» Outre ces sons musicaux on peut en obtenir d'autres très-curieux. Ces derniers sont produits par le passage du courant, au moment de la rupture, lorsque les interruptions ne sont point assez rapprochées pour produire une vibration continue. Je ne puis mieux comparer ces sons qu'au grattement produit par le frottement de deux tiges métalliques appuyées fortement l'une contre l'autre.

» On les obtient facilement en faisant communiquer l'un des fils avec une lime, et en grattant cette lime avec l'autre fil.

» P. Yvon. »

SÉANCE DU 15 MARS 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Bédos, professeur au lycée de Montpellier ; Couvreux, président du tribunal de Châtillon-sur-Seine ; Grognot (L.), chimiste manufacturier (usine du Foulon), à Dijon ; Joly, ingénieur des lignes télégraphiques à Besançon ; Pernet (D[r]), chargé des fonctions de directeur du bureau international des poids et mesures ; Poussin (Alexandre fils), ingénieur manufacturier à Elbeuf.

M. Salet résume les recherches qu'il a faites pour réaliser un téléphone, dans lequel les mouvements de la première membrane vibrante, au lieu d'engendrer un courant électrique, modifieraient l'intensité d'un courant de pile préexistant. Il explique le rôle du graphite, puis du charbon de cornue qu'il a substitué au premier, primitivement employé par M. Edison.

M. Marcel Deprez rend compte d'une application faite par M. Paquelin, de la propriété du platine de devenir incandescent sous l'action d'un mélange gazeux convenable, à la réalisation, sous un très-petit volume, de foyers dont M. Deprez met en évidence l'énorme puissance calorifique.

M. du Moncel présente à la Société le phonographe de M. Edison et en expose le mécanisme.

Foyers calorifiques du D[r] Paquelin ; par M. Marcel Deprez.

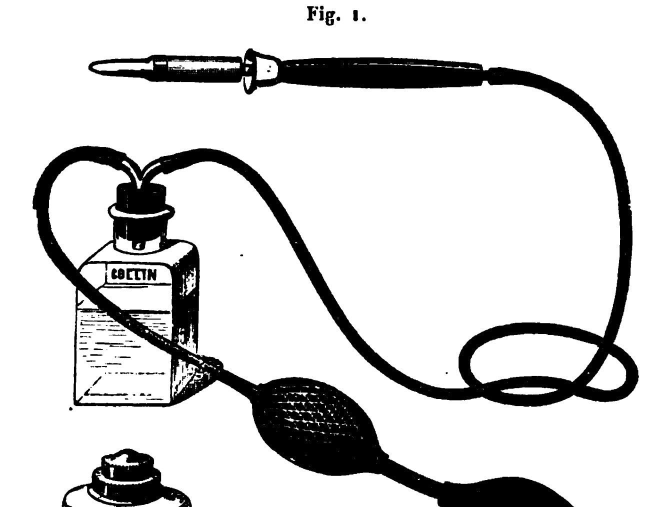
Les foyers du D[r] Paquelin, imaginés en vue d'applications médicales, se recommandent à la fois par leur simplicité et par leur puissance calorifique.

Le foyer proprement dit est formé d'une feuille de platine sans soudure, présentant une forme appropriée à l'usage auquel on le destine (boule, olive, lame de couteau droite ou courbe, pointe à ignipuncture, etc.) ; il est monté à demeure bout à bout sur un tube d'un autre métal, lequel est percé de trous à son extrémité libre, pour le dégagement des résidus de la combustion ; de telle sorte que les deux pièces ainsi ajustées forment une sorte de chambre allongée, fermée à une de ses extrémités, ouverte à l'autre. Dans toute la longueur de cette chambre, s'étend un tube métallique qui sort de quelques millimètres à travers son extrémité ouverte, et

par lequel arrive un mélange d'air et de vapeur d'un hydrocarbure volatil ([1]). Ce mélange s'effectue dans un flacon laveur contenant l'hydrocarbure, et dans lequel l'air est introduit par un petit soufflet à double vent ou poire de Richardson.

Pour se servir de l'appareil, on chauffe l'extrémité de platine de la chambre à combustion dans la flamme d'une lampe à alcool ou d'un bec de gaz, sans faire jouer la soufflerie, jusqu'à ce que l'extré-

Fig. 1.



mité devienne légèrement rose, ce qui a lieu en une minute à peine; puis on insuffle doucement le mélange d'air et de vapeur jusqu'à ce que le platine soit d'un rouge vif: alors la flamme disparaît subitement et toute la chaleur dégagée par la combustion apparaît sous forme de chaleur rayonnante. Dès lors, on peut retirer la lampe, le foyer est amorcé : on pourra désormais, suivant la vitesse et l'ampleur de l'insufflation, soit l'entretenir à une température constante, soit l'échauffer davantage ou le laisser refroidir; il suffit d'accroître convenablement la pression pour ramener à l'incandescence la plus vive le platine descendu jusqu'au-dessous du

---

([1]) C'est le liquide que l'on brûle dans les lampes à éponge et à mèche pleine, dites *lampes Mille*.

rouge ; mais, si la température s'est abaissée trop bas, il devient nécessaire de réamorcer le foyer.

Pour mesurer la quantité de chaleur dégagée par les foyers du D[r] Paquelin, j'ai placé l'un de ces foyers, dont le volume était de 715 millimètres cubes, dans une enveloppe de cuivre d'un volume notablement plus grand, plongée elle-même dans un vase contenant 200 grammes d'eau à la température de 13 degrés. Au bout de 2 minutes la température s'était élevée à 78 degrés. La quantité de chaleur dégagée était donc de 13 calories en 2 minutes, soit près de 400 calories par heure. Dans d'autres expériences, cette quantité de chaleur s'est élevée à 600 calories, mais alors il fallait développer un travail mécanique notable, pour forcer les gaz à traverser le foyer.

En nous bornant à cette première expérience, nous voyons qu'elle nous apprend qu'un foyer de 715 millimètres cubes peut développer 400 calories par heure, et cela en utilisant (comme cela m'a été démontré plus tard au moyen d'un calorimètre spécial) plus de la moitié de la chaleur totale produite par la combustion.

Si l'on voulait obtenir le même résultat en employant le charbon comme combustible, il faudrait brûler dans le foyer 100 grammes de charbon dans une heure, en admettant 8000 calories pour la puissance calorifique du charbon, et 0,5 pour coefficient d'utilisation. Le volume du foyer étant de 715 millimètres cubes, il est facile de voir que, si l'on faisait un foyer de 1 mètre carré de base et de 20 centimètres de hauteur (qui pourrait être constitué si l'on voulait par la réunion d'un très-grand nombre de petits foyers), la quantité de chaleur totale dégagée par heure équivaudrait à celle qui serait produite par la combustion de 2800 kilogrammes de charbon. Or, dans les locomotives, une grille de 1 mètre carré chargée d'une couche de combustible de $0^m,20$ ne peut guère brûler plus de 600 kilogrammes de combustible par heure, et cela au moyen d'un tirage très-violent. *Le foyer en platine de M. Paquelin développe donc, à volume égal, une quantité de chaleur près de cinquante fois aussi considérable que le foyer d'une locomotive!*

La surface rayonnante du foyer est de 486 millimètres carrés, mais la plus grande partie de cette surface est portée au rouge-cerise, tandis que les points du réseau en platine situés à la sortie

des gaz sont d'un blanc éblouissant. En admettant qu'ils rayonnent à eux seuls la moitié de la chaleur dégagée, soit 200 calories par heure, on trouve que ce rayonnement atteint une valeur de 280 calories par centimètre carré et par heure. Or le rayonnement de la surface solaire est de 500 calories environ par centimètre carré et par heure. Le foyer en platine est donc doué d'un pouvoir rayonnant qu'on peut évaluer au moins à la vingtième partie de celui de la surface solaire. Il ne serait pas difficile de dépasser notablement ce résultat : il suffirait pour cela d'augmenter la pression d'écoulement des gaz combustibles, mais alors on provoquerait la fusion du réseau en platine.

Le phonographe d'Edison; par M. A. Niaudet.

L'enregistrement des sons n'est pas chose nouvelle; Thomas Young le premier fit écrire sur un cylindre les vibrations d'une verge métallique; Duhamel (1) appliqua la même méthode à l'étude des vibrations des cordes; Wertheim (2) paraît avoir été le premier à enregistrer les vibrations des diapasons, qui ont été depuis si fréquemment employées.

MM. Léon Scott et Kœnig (3) ont, au moyen de leur phonautographe, écrit les vibrations d'une membrane et obtenu directement la courbe complexe qui correspond à un accord et deux, trois ou même quatre sons. Avec cet instrument M. Kœnig a fait de nombreuses et importantes expériences dont la plus curieuse est l'enregistrement d'une phrase musicale.

M. Barlow a présenté à la Société Royale un logographe dont la description n'a pas encore été donnée en français.

Enfin M. Rosapelly (4) a enregistré les mouvements du larynx en même temps que ceux des lèvres et du voile du palais, en vue de

(1) *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, oct. 1864.
(2) Dr Rosapelly, *Travaux du laboratoire de M. Marey*. 2e année, Paris, 1876.
(3) Duhamel, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1840.
(4) Wertheim, *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XII.

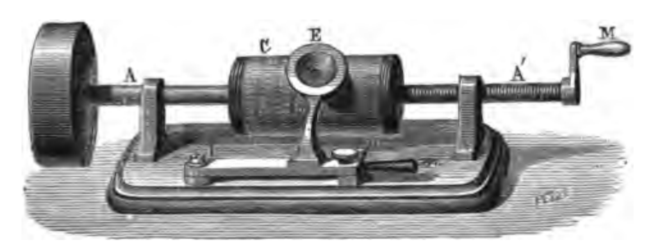
déterminer les caractères graphiques des différentes consonnes ou groupes de consonnes.

Si donc M. Edison n'avait fait qu'un instrument capable d'enregistrer les sons, son invention n'attirerait pas aujourd'hui une très-grande attention; mais il a eu la hardiesse de songer à reproduire les sons au moyen de la trace graphique laissée par eux et l'habileté d'y réussir.

Son appareil, tel qu'il est connu par le seul exemplaire venu en Europe, est représenté dans les *fig.* 1 et 2.



Fig. 1.



Un cylindre de laiton C est monté sur un axe AA' taraudé dans une de ses parties A'; l'un des supports sert d'écrou fixe à cette vis; et, quand on tourne la manivelle M, chaque point du cylindre décrit une hélice. La surface du cylindre présente une rainure hélicoïdale dont le pas est le même que celui de la vis taillée sur l'axe. On y colle une feuille mince d'étain qui l'entoure complétement. Ce papier est suspendu au-dessus du vide présenté par la rainure hélicoïdale, et c'est dans cette partie que se fera l'enregistrement, comme nous allons le dire.

Tel est l'appareil enregistreur, qui ressemble, comme on voit, à celui du phonautographe de Scott et Kœnig. Voici maintenant l'appareil acoustique lui-même.

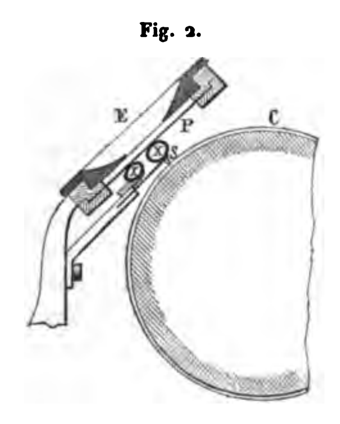
Il se compose d'une membrane métallique très-mince P, fixée dans une bague circulaire qui est retenue à l'extrémité d'un support mobile. Devant cette membrane est une embouchure E, et toutes deux sont semblables aux organes correspondants du téléphone. Sous la membrane est porté un petit style métallique fort court et rigide, qui en suit tous les mouvements. Le style est fixé à l'extrémité d'un ressort dont les vibrations propres sont amorties

par des étouffoirs X formés par des morceaux de tube de caoutchouc.

Pour faire fonctionner cet appareil, on amène le support dans la position figurée, la membrane devant le cylindre et le style au contact du papier d'étain, dans cette partie où il est tendu et libre en dessous. On parle dans l'embouchure pendant que le cylindre tourne ; la membrane vibre et le style fait sur le papier d'étain des marques visibles à l'œil.

Pour reproduire les sons, il faut écarter la membrane et le style, ramener le cylindre en arrière et rapprocher la membrane de

Fig. 2.



manière que tout soit dans la même position qu'au commencement de l'inscription. On tourne alors la manivelle comme on l'avait fait d'abord ; le style, commandé par les ondulations de la feuille d'étain, pousse la membrane qui passe par toutes les positions qu'elle avait occupées pendant la première partie de l'expérience, et qui reproduit les sons à l'unisson desquels elle avait vibré tout à l'heure.

Il n'est pas besoin de dire que les sons rendus par l'instrument sont beaucoup moins intenses que ceux qu'on lui a fait d'abord enregistrer ; mais ils sont parfaitement distincts et ils ont pu être entendus par deux cents personnes à la fois, se pressant dans la salle de la Société de Physique. L'appareil qui a été montré à Paris ne rend pas exactement le timbre de la voix de la personne qui a parlé ; mais les voyelles et même les consonnes sont parfaitement reconnaissables.

On annonce que M. Edison a récemment perfectionné son appareil et que, dès à présent, il reproduit exactement le timbre de la voix humaine et rend les plus faibles chuchotements et le bruit de la respiration entendus par la membrane. Après ce qu'il nous a déjà fait entendre, il y aurait mauvaise grâce à ne pas le croire sur parole, et il faut lui faire crédit de quelques semaines pour qu'il s'acquitte envers nous de cette promesse.

Si l'on chante au lieu de parler, la reproduction des sons donne lieu aux observations suivantes : 1° chaque son change de hauteur avec la vitesse de rotation du cylindre et n'est rendu exactement que si la vitesse est rigoureusement la même pendant l'inscription et pendant la reproduction; 2° l'accord formé par des sons successifs cesse d'être juste à la reproduction si la vitesse n'est pas rigoureusement constante dans l'une et l'autre période.

Une feuille d'étain impressionnée par une phrase ou un chant peut faire entendre cette phrase non-seulement une fois, mais même plusieurs fois. Mais, dès la seconde reproduction, l'intensité du son rendu est fort diminuée et se réduirait bientôt à rien.

On comprend que le papier d'étain, dont la mollesse se prête à l'enregistrement, ne permette pas indéfiniment la reproduction; pour corriger ce défaut, divers moyens se présentent à l'esprit et, malgré les difficultés d'exécution, nous ne doutons pas qu'on n'arrive à franchir ce pas.

Parmi les expériences auxquelles nous avons assisté, il faut noter la suivante :

On parle une première fois dans l'embouchure et l'on enregistre sur une portion du cylindre une phrase, en français par exemple; puis on revient au point de départ et l'on enregistre sur la même portion du papier une seconde phrase, en anglais. On remarque d'abord que, pendant l'enregistrement de la phrase anglaise, la française est reproduite par l'instrument, de sorte qu'on les entend toutes deux et que l'instrument a l'air de répondre dans une autre langue et au même instant à ce qu'on lui dit. On peut aller ainsi jusqu'à trois phrases inscrites sur le papier et l'une sur l'autre, et on peut les reproduire toutes les trois à la fois. A la vérité, la dernière inscrite est la plus distincte; mais, en fixant son attention avec beaucoup d'énergie, on peut s'abstraire de cette dernière et entendre clairement l'avant-dernière ou la première.

Cette simultanéité et cette confusion produisent l'effet le plus comique, en même temps qu'elles remplissent d'admiration les physiciens.

Le phonographe peut servir de transmetteur pour le téléphone : on peut mettre un téléphone transmetteur devant la membrane du phonographe pendant la reproduction ; le téléphone sera impressionné par le phonographe et transmettra les sons qui l'auront frappé à un second téléphone à une distance quelconque. L'expérience a été faite ; mais on pourrait faire plus et mettre, devant la membrane du phonographe, un aimant de téléphone porteur de sa bobine et composer ainsi un téléphone dont la membrane serait celle du phonographe. On supprimerait ainsi un intermédiaire et l'effet serait plus satisfaisant ; mais nous n'avons pas encore eu le temps de faire cette expérience.

Sera-t-il possible de faire l'inverse, de parler à Paris dans un téléphone, et de faire écrire dans un téléphonographe à Saint-Cloud les sons prononcés à Paris ? On n'ose plus prononcer le mot *impossible;* mais, si l'on y réussit, ce sera, pour les gens compétents et sincères, un nouvel et immense étonnement ; car les vibrations de la membrane du téléphone récepteur sont d'une amplitude extraordinairement petite.

SÉANCE DU 5 AVRIL 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Aylmer (John), ingénieur à Paris ; Beau (Henri), ancien élève de l'École Polytechnique à Paris ; Boniol, professeur de mathématiques à Paris ; Bourseul, ingénieur des lignes télégraphiques à Auch ; Brewer fils, constructeur à Paris ; Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique à Paris ; Morin, inspecteur des lignes télégraphiques à Poitiers ; Picou, ingénieur à Paris ; Serré-Guino, professeur au lycée de Bordeaux ; Viorrain, préparateur de chimie, à Paris.

M. Thollon présente à la Société un nouveau spectroscope à vision directe dont il développe le principe et les avantages.

M. Lippmann reproduit devant la Société une des expériences par lesquelles il a établi que la constante capillaire relative à deux liquides conducteurs ne dépend que de la différence de potentiel qui existe entre ces deux liquides, et non de leur nature. Il expose les diverses expériences de mesure au moyen desquelles il s'est assuré de l'exactitude de cette loi remarquable.

M. Bertin a utilisé l'appareil à projection horizontale, déjà présenté à la Société par M. Duboscq, à la projection des mouvements électro-dynamiques produits par des aimants ou des électro-aimants dans des liquides, traversés par des courants électriques. La beauté et la netteté de ces phénomènes, conséquence des lois d'Ampère, font dire à M. Bertin qu'il serait peut-être désirable qu'on remplaçât dans les cours par ces belles expériences celles que l'on fait d'habitude, incomparablement moins brillantes, pour la démonstration des lois de l'électro-dynamique.

M. Jannettaz montre à la Société, avec les modifications qu'il a été conduit à y apporter, l'appareil déjà présenté par lui pour l'étude de la propagation de la chaleur dans les minéraux.

M. Cadiat expose comment il a pu transmettre le mouvement d'une machine à vapeur à une distance de 150^{m}, par l'accouplement de deux machines de Gramme, le courant engendré par l'une faisant tourner l'autre.

A propos des différences considérables qui existent entre les diverses valeurs du rendement obtenues par quelques expérimentateurs, M. Reynier fait remarquer qu'il résulte, de la théorie de ces phénomènes qu'exposait dernièrement M. Mascart, que ce rendement dépend en effet des relations qui existent entre les organes des deux machines et du travail qu'on leur fait transmettre.

Nouveau spectroscope; par M. Thollon.

J'ai l'honneur de présenter à la Société de Physique un spectroscope construit d'après un système tout nouveau. Cet instrument, qui a été expérimenté à la Sorbonne, à l'École Normale

et au Collége de France, possède un certain nombre de qualités qui le recommandent à l'attention des spécialistes : 1° il est à vision absolument directe ; 2° il est d'une symétrie parfaite, et peut s'adapter avec facilité aux lunettes astronomiques; 3° les prismes, qui seuls sont mobiles dans l'appareil, sont mis en jeu par un procédé rigoureusement géométrique, de sorte qu'une radiation venue suivant l'axe du collimateur n'arrive dans l'axe de la lunette qu'après avoir traversé deux fois tout le système de prismes au minimum de déviation ; 4° la théorie sur laquelle repose sa construction permet de lui donner un pouvoir dispersif considérable, de modifier dans des limites très-étendues ce pouvoir dans le même instrument ; bien plus, elle permet de modifier même la nature du spectre qui, dans un cas spécial, devient normal par rapport à l'indice ; 5° il se prête enfin aux mesures spectrométriques les plus exactes. Avant de le décrire, il convient d'exposer rapidement la théorie qui sert de base à tout le système et qui permet d'approprier le nouveau spectroscope aux diverses exigences de la Science.

I. *Théorie du couple.* — J'appelle *couple* un système de deux prismes égaux ABC, A'B'C (*fig.* 1) faits de même matière, dont les arêtes réfringentes sont parallèles et qui sont toujours symétriques par rapport à un plan parallèle à ces mêmes arêtes.

Quand le *couple,* ainsi défini, est traversé par un rayon OR, d'une réfrangibilité déterminée, faisant avec le premier prisme les angles d'incidence et d'émergence i, e, et les angles intérieurs r, ρ, avec le deuxième prisme les angles analogues i', e', r', ρ', il jouit des propriétés suivantes :

1° L'angle Δ que font entre elles les faces AC, A'C et que j'appellerai l'*angle du couple,* a toujours pour valeur

$$\Delta = e + i'. \qquad (1)$$

2° La déviation D qu'éprouve le rayon est exprimée par la relation

$$D = i + e' + e + i' - 2A,$$

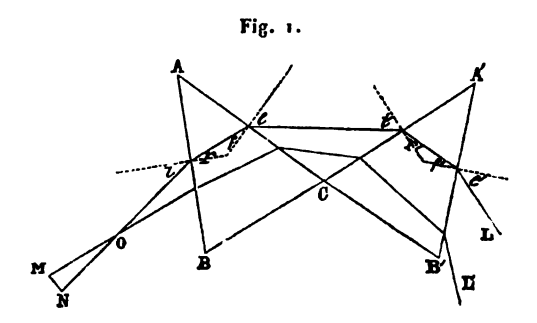
qui peut se mettre, à cause de la relation (1), sous la forme

$$D = i + e' + \Delta - 2A. \qquad (2)$$

Ces deux propriétés se démontrent par de simples considérations de Géométrie élémentaire.

3° Quand un rayon d'une certaine réfrangibilité traverse le premier prisme en faisant les angles d'incidence et d'émergence i, e,

Fig. 1.



on peut toujours donner à Δ une valeur telle que le même rayon, en traversant le deuxième prisme, fasse $i' = e$ et par suite $e' = i$. Si donc le rayon qui rencontre le premier prisme sous une incidence déterminée i contient toutes les radiations possibles, en faisant varier Δ d'une manière continue, toutes les radiations, en traversant le couple, feront successivement $e = i'$ et $e' = i$.

4° Si l'on attribue à Δ une valeur fixe et déterminée et qu'on fasse varier la position du couple sur le trajet d'un rayon d'une certaine réfrangibilité, il y a toujours deux incidences différentes qui produisent la même déviation, excepté quand on a $i = e'$.

Ces deux dernières propriétés sont des conséquences immédiates du principe du *retour inverse*.

5° Pour une valeur déterminée de Δ, si le rayon traverse le couple en faisant $i = e'$, il est au *minimum de déviation relatif au couple*. Ce minimum ne doit pas être confondu avec celui qui correspond à $i = e = i' = e'$ qu'on peut appeler *minimum absolu* et qui est évidemment le *minimum minimorum*.

Cette dernière proposition peut être considérée comme une conséquence de la propriété du n° 4°. Elle peut aussi se démontrer directement en différentiant l'équation (2).

6° Si l'on regarde à travers un couple la fente d'un collimateur, éclairée par une lumière monochromatique, la largeur de cette fente est vue sous le même angle que si on la regarde directement

à travers le collimateur, quand le faisceau lumineux traverse le couple en faisant $i = e'$.

En effet, soient MN la distance des deux bords de la fente, O le centre optique de l'objectif du collimateur et α l'angle très-petit que font les rayons NO et MO. Si l'on désigne par i, e, i', e' les angles que fait le rayon NOL en traversant les deux prismes, les angles que fait le rayon MOL' pourront s'écrire $i-\alpha, e+\alpha', i-\alpha', e'+\alpha''$.

Pour trouver les valeurs de α' et α'', nous écrirons d'abord

$$\sin(i-\alpha) = n\sin(r-\beta),$$
$$\sin(e+\alpha') = n\sin(\rho+\beta),$$

en développant

$$\sin i - \alpha\cos i = n\sin r - n\beta\cos r,$$
$$\sin e + \alpha'\cos e = n\sin\rho + n\beta\cos\rho,$$

ou bien

$$\alpha\cos i = n\beta\cos r,$$
$$\alpha'\cos e = n\beta\cos\rho;$$

par l'élimination de $n\beta$ on trouve enfin

$$\alpha' = \alpha\frac{\cos i\cos\rho}{\cos e\cos r}. \tag{3}$$

En opérant d'une façon identique, on trouvera pour α''

$$\alpha'' = \alpha'\frac{\cos i'\cos\rho'}{\cos e'\cos r'},$$

et, en remplaçant α' par sa valeur (équation 3),

$$\alpha'' = \frac{\cos i\cos\rho\cos i'\cos\rho'}{\cos e\cos r\cos e'\cos r'}. \tag{4}$$

Que l'on fasse dans la relation (3) $i = e$, et dans la relation (4) $i = e'$, on trouve dans le premier cas $\alpha' = \alpha$ et dans le deuxième $\alpha'' = \alpha$.

Dans tout ce qui précède on voit qu'il existe une remarquable analogie de propriétés entre le couple et le prisme ; l'un peut donc se substituer à l'autre dans la construction du spectroscope.

Pour compléter la théorie qui vient d'être exposée, il reste à étudier le couple au point de vue de la dispersion. Nous allons voir que sous ce rapport il possède des propriétés importantes.

La relation qui lie la valeur de e à celle de i dans le premier prisme (*fig.* 1) est la suivante:

$$\sin e = \sin A \sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \cos A \sin i;$$

si, considérant i comme une constante, on différentie cette expression par rapport à n, il viendra

$$\frac{\partial e}{\partial n} = \frac{\sin A}{\cos e \cos r};$$

ce quotient différentiel est l'expression générale de la dispersion élémentaire pour un seul prisme. Dans le cas du minimum de déviation, cette équation devient

$$\frac{\partial e}{\partial n} = \frac{2 \sin \frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{A}{2}}};$$

quand il s'agit du couple, on obtient pour ce même quotient différentiel

$$\frac{\partial e'}{\partial n} = \frac{\sin A (\cos e \cos r + \cos e' \cos r')}{\cos e \cos r \cos e' \cos r'},$$

et, dans le cas du minimum de déviation *relatif au couple*,

$$\frac{\partial e'}{\partial n} = \frac{2 \sin A}{\cos e' \cos r'}. \qquad (5)$$

L'équation (5) prend des valeurs qu'il est intéressant de comparer dans trois cas particuliers.

1° Si l'angle Δ est nul, l'équation (5) devient

$$\frac{\partial e'}{\partial n} = \frac{2 \sin A}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 A}}.$$

2° Si l'on a $i = e = i' = e'$, elle devient

$$\frac{\partial e'}{\partial n} = \frac{4 \sin \frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{A}{2}}}.$$

3° Enfin, si l'on prend $i = e' = 0$, c'est-à-dire quand la première

incidence et la dernière émergence sont normales, il vient

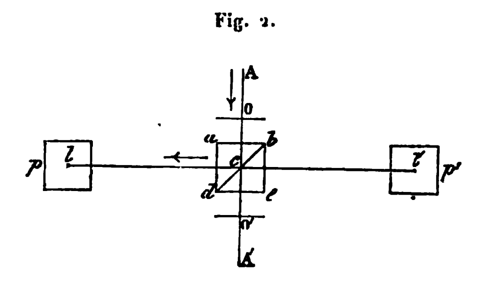
$$\frac{\partial e'}{\partial n} = 2 \tang A.$$

Cette dernière expression est fort remarquable ; elle montre que la dispersion élémentaire est constante dans toute l'étendue du spectre qui conserve alors une parfaite proportionnalité, soit dans son développement, soit dans son intensité. Il est dans ce cas *normal par rapport à l'indice.*

II. *Spectroscope à vision directe.*—Pour ne pas sortir des bornes dans lesquelles doit se renfermer cet article, je n'insisterai pas sur les nombreuses applications qui peuvent être faites de la théorie précédente; je me bornerai à indiquer le procédé au moyen duquel s'obtient la vision directe et celui qui permet de mettre en jeu les prismes ou les couples, en les maintenant d'une manière constante et rigoureuse au minimum de déviation pour chaque radiation observée.

Soit AA' (*fig.* 2) la droite sur laquelle se trouvent les axes de la

Fig. 2.

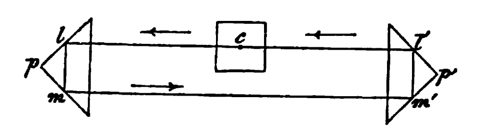


lunette et du collimateur, dont les objectifs en regard O, O' sont séparés par un intervalle de quelques centimètres. Dans cet intervalle, deux prismes à réflexion totale *abd*, *bde*, réunis par leur face hypoténuse et formant un cube de hauteur *h*, sont disposés de manière que la ligne AA' perce normalement le milieu des faces *ab*, *de*. Tout rayon venu suivant AO se réfléchira totalement au centre *c* du cube et sortira suivant la direction *cl* perpendiculaire à Ac. Si, par un moyen quelconque, on oblige le même rayon à rentrer dans le cube par la face *be*, en perçant normalement le milieu de cette face, il est évident qu'il reviendra au centre du

cube où une nouvelle réflexion totale le renverra dans la lunette suivant AA'. L'observateur qui, à travers la lunette, regarderait la fente du collimateur, la verrait alors exactement à la même place que si le cube *abde* n'était pas interposé.

Pour se rendre compte de la manière dont s'effectue le retour du rayon, projetons la *fig.* 2 sur un plan vertical. Le point *c* (*fig.* 3)

Fig. 3.

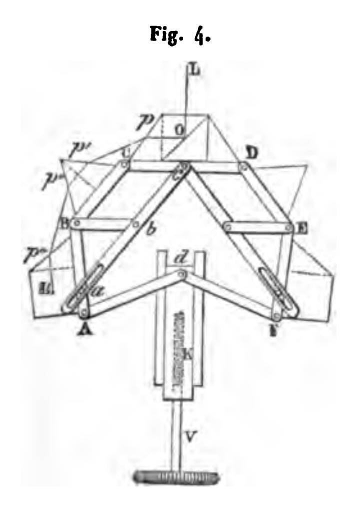


est à la fois le centre du cube et la trace de la ligne des axes. Le prisme à réflexion totale *p*, disposé comme l'indique la figure, réfléchit deux fois le rayon *cl* en le faisant descendre d'un étage et le renvoie parallèlement à lui-même. Un autre prisme *p'*, symétrique de *p*, par un effet inverse, le fait remonter à son niveau primitif et le renvoie dans le cube suivant *l'c*. Le rayon parti du centre revient au centre en accomplissant un trajet rectangulaire ; avant comme après ces deux passages, il suit exactement la ligne des axes. Il est aisé de voir que si, après sa première sortie du cube, il traverse au minimum de déviation un certain nombre de prismes égaux et de hauteur $2h$, que le prisme à réflexion convenablement disposé le renvoie parallèlement à lui-même, et que du côté opposé se trouve un système parfaitement symétrique, ce même rayon traversera deux fois tout le système de prismes en faisant partout des angles d'incidence et d'émergence égaux entre eux, puis il continuera son trajet suivant l'axe de la lunette, comme dans le cas précédent. Les bases du rectangle décrit seront devenues des lignes brisées dont les diverses parties seront parallèles deux à deux.

Un simple coup d'œil jeté sur la *fig.* 4 me dispensera d'une longue description et permettra de se faire une idée de la disposition adoptée dans l'instrument à huit prismes, que j'ai construit moi-même, aussi bien que de la manière dont se meuvent les prismes ; AB, BC, CD, DE, EF sont des lames métalliques reliées l'une à l'autre par des charnières dont les axes sont parallèles à la fente et aux arêtes réfringentes ; sur ces lames sont fixés les prismes. La partie centrale CD est immobile entre la lunette et le colli-

mateur. Le levier AC est maintenu parallèle à BC par le bras B*b* ; l'une de ses extrémités s'articule au pivot *c*, l'autre est pourvue d'une rainure dans laquelle peut glisser le pivot *a*, et, comme $a\mathrm{B} = \mathrm{C}c$, les angles ABC et BCD sont toujours égaux ; à droite, même disposition. Les deux systèmes sont maintenus symétriques, par rapport au plan passant par la fente et la ligne des axes, par deux bras égaux A*d*, F*d*. K est une coulisse qui se meut lon-

Fig. 4.



gitudinalement au moyen d'une vis de rappel V ; elle porte le pivot *d* qui reste toujours dans le plan de symétrie. En tournant la vis dans un sens ou dans l'autre, on rapproche ou l'on éloigne les deux systèmes mobiles dont les angles intérieurs ne cessent jamais d'être égaux entre eux.

Dans cet instrument le système réfringent est formé de quatre couples de prismes de 30°, p, p', p'', p''', ... En suivant la marche du rayon LOL', on voit que, s'il est normal à l'entrée et à la sortie du premier couple, il en sera de même pour tous les autres. Comme la première incidence est toujours normale, on comprendra sans peine que, si le rayon est formé de lumière blanche, en faisant varier d'une manière continue la position des prismes, toutes les radiations qui le composent émergeront successivement du premier couple suivant la normale ; et que toutes, par conséquent, arriveront successivement aussi dans la lunette suivant l'axe, après avoir traversé deux fois tout le système au minimum de déviation. En dirigeant

l'instrument vers le soleil, il suffira donc de tourner la vis de rappel pour voir passer dans le champ de la lunette tout le spectre solaire. Le spectre que j'obtiens ainsi a environ $1^m,5$ de longueur; on peut évaluer de 2500 à 3000 le nombre des raies qu'on y voit nettement. Comme il est, en ce cas, normal par rapport à l'indice, il présente dans le bleu et le violet une intensité extraordinaire. J'ajouterai que, pour le parcourir dans toute son étendue, il est à peine besoin de faire varier le tirage de la lunette. Enfin, si l'on détermine le nombre de tours et les fractions de tour que la vis a dû faire pour amener une raie sur une croisée de fils, la position de cette raie est déterminée avec une précision qui, dans certains cas, ne laisse rien à désirer.

Influence des agents chimiques sur les propriétés superficielles du mercure; par M. G. Lippmann.

On sait que, lorsqu'on fait varier d'une manière continue la force électromotrice, ou si l'on veut la différence électrique d'une surface de mercure mouillée, soit au moyen d'un courant électrique, soit en faisant varier mécaniquement l'aire de cette surface, on produit une variation continue des constantes capillaires, de telle sorte que la constante capillaire est une fonction continue de la force électromotrice. La forme de cette fonction a été déterminée dans le cas où le liquide qui mouille le mercure est de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique (1).

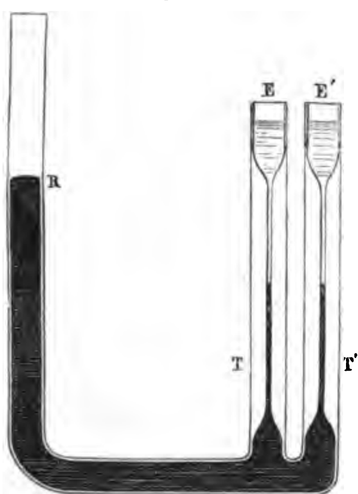
Lorsque, au lieu de faire varier la force électromotrice par l'un des deux moyens qui viennent d'être indiqués, on ajoute à la liqueur une substance capable de faire varier notablement cette force électromotrice, comment la constante capillaire variera-t-elle? Telle est la question que nous nous posons aujourd'hui. L'expérience montre que, pour une valeur déterminée de la force électromotrice, la constante capillaire a une valeur et une seule, indépendante de la composition chimique des liquides.

---

(1) Voir *Journal de Physique*, t. III, p. 41, 1874; *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. V, p. 494, 1875.

On peut se servir, pour le démontrer, de l'appareil représenté par la *fig.* 1. Deux tubes capillaires T, T', ayant le même diamètre intérieur, communiquent avec un même réservoir R contenant du mercure. Ces tubes se terminent par des entonnoirs E, E', destinés à recevoir les dissolutions qu'on veut mettre en contact avec le mercure. Lorsqu'on a mis en E et en E' le même liquide, par exemple de l'acide sulfurique étendu, le niveau du mercure est le même en T et en T'. Si l'on ajoute dans l'un des tubes une substance


Fig. 1.

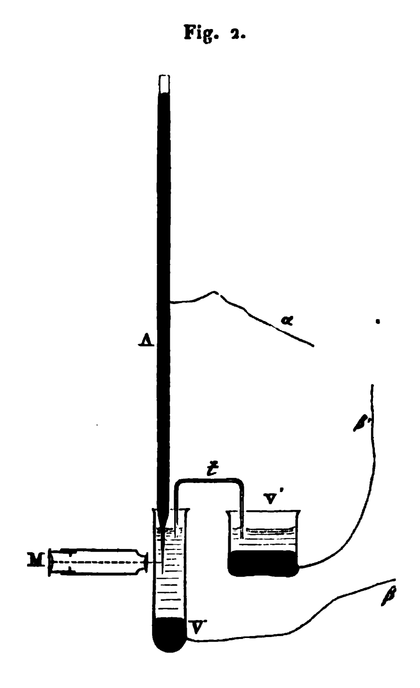


telle que de l'acide chromique, le niveau du mercure s'élève dans ce tube, la dépression capillaire y diminue ; une trace de sel marin produirait l'effet opposé. En même temps qu'elles changent la constante capillaire du mercure, ces substances changent la force électromotrice à la surface, de telle sorte que les potentiels électriques, qui auparavant étaient égaux en E et E', deviennent inégaux.

Vient-on maintenant à mettre en communication électrique les deux masses liquides en E et E', soit au moyen d'un fil mouillé, soit par l'intermédiaire d'un fil de verre creux, contenant du liquide, soit même par l'intermédiaire du corps de l'observateur, on voit les deux colonnes de mercure en T et T' se mettre en mouvement, et les deux ménisques de mercure venir se placer dans un même plan horizontal. Enlève-t-on la communication électrique

entre E et E′, les deux ménisques de mercure rebroussent chemin, et présentent de nouveau les dépressions capillaires qui correspondent à la nature des liquides respectifs qui les mouillent. Cette expérience montre que, lorsque l'on rend égales des deux parts les valeurs des potentiels, et par conséquent les valeurs des diffé-

Fig. 2.



rences électriques en T et T′, les constantes capillaires prennent la même valeur dans les deux tubes, *bien que la nature des liquides y soit différente* (¹).

La même loi a été vérifiée avec une très-grande précision au moyen de l'appareil représenté par la *fig.* 2. Un tube de verre

(¹) Au lieu de faire varier la composition du liquide aqueux, on peut introduire dans le mercure un métal qui en change la force électromotrice, du zinc ou mieux encore du sodium. On met en E et E′ une dissolution de soude caustique, puis, au moyen du courant fourni par trois éléments Leclanché, on décompose cette dissolution dans l'un des tubes, de manière à y produire un amalgame de sodium. La variation de niveau qui se produit est, dans ce cas, très-considérable; l'égalisation temporaire des niveaux, pendant qu'on établit la communication électrique entre E et E′, est très-frappante. C'est sous cette forme que l'expérience a été répétée et projetée devant la Société de Physique.

vertical A, ouvert aux deux bouts, est effilé en pointe fine à son extrémité inférieure ; ce tube contient une colonne de mercure d'environ $0^m,40$ de hauteur, laquelle est soutenue par la pression capillaire du ménisque de mercure qui se forme dans la pointe fine ; cette pointe elle-même plonge dans le vase de verre V, plein du liquide dont on veut faire varier la composition. L'expérience consiste, cette fois, à maintenir, par des communications électriques appropriées, la différence du potentiel constante à la surface du ménisque dans le tube fin, en même temps qu'on fait varier la composition chimique. A cet effet, on a disposé, à côté du vase V, un vase V′, contenant une large surface de mercure en contact avec un liquide aqueux de composition invariable. Le mercure du tube A et le mercure du vase V′ sont mis en communication par l'intermédiaire des fils de platine α et β' ; en même temps le liquide du vase V est amené au contact de celui du vase V′ au moyen du tube fin T ; dès lors la différence électrique du ménisque reste constante et égale à la différence électrique de la surface de mercure en V′. Ce ménisque prend une position d'équilibre stable, position que l'on note au moyen du microscope M à réticule et à fort grossissement, installé à poste fixe, à portée du ménisque. L'appareil ainsi installé, on substitue au liquide du vase V successivement divers liquides que l'on amène au contact du ménisque dans la pointe fine. On constate que, malgré ces changements du liquide, la position d'équilibre du ménisque ne change pas, tant que la communication électrique, dont nous avons parlé, maintient sa différence électrique constante.

Donc, pour une valeur donnée de la différence électrique, la constante capillaire a une valeur toujours la même, *indépendante de la nature chimique du liquide en contact avec le mercure.*

L'appareil permet une contre-épreuve. Au fond du vase V on a mis une couche de mercure ; à l'aide du fil de platine β on peut mettre cette couche de mercure en communication avec la colonne A, la communication entre α et β' étant supprimée. Le ménisque prend alors la position qui correspond à la différence électrique développée à la surface du mercure en V par le liquide qu'on y a introduit ; suivant que ce liquide est de l'acide chlorhydrique ou de l'acide chromique, le mercure est refoulé de bas en haut hors

du champ, ou bien il jaillit hors du tube. En mettant de nouveau les fils α et β' en contact, on voit le mercure revenir immédiatement au réticule. En promenant ainsi le fil α du fil β au fil β' et réciproquement, on peut vérifier, plusieurs fois en une minute, l'exactitude du fait énoncé plus haut. Dans la plupart des cas la loi a été trouvée exacte à moins de $\frac{1}{400}$ près.

Quelles sont les substances qu'il convient d'employer pour faire varier la force électromotrice d'une surface de mercure? L'acide chromique, ou bien le bichromate et le permanganate de potasse en présence d'un acide, diminue énergiquement, même à très-faible dose (au-dessous d'un millième), la différence électrique entre le mercure et le liquide aqueux; à dose plus forte le mercure est sensiblement oxydé. Les hydracides, ou bien les sels halogènes, en présence de l'acide sulfurique, agissent encore plus énergiquement, mais en sens inverse. Il en est de même de l'hyposulfite de soude.

Sur la rotation électromagnétique des liquides et sur la projection de ces phénomènes au moyen du nouvel appareil de M. Duboscq; par M. Bertin.

L'art des projections doit être aussi ancien que l'enseignement de la Physique expérimentale. Le P. Kircher projetait les images de la lanterne magique, Newton projetait le spectre solaire; mais c'est à peu près tout ce que l'on voit figurer dans les planches de la *Physique* de l'abbé Nollet. Ce n'était pas assez : à mesure que la Physique s'est développée, les phénomènes étudiés sont devenus plus compliqués et plus difficiles à projeter, et c'est vraiment dans ces dernières années seulement que l'art des projections s'est mis à la hauteur de tous les besoins de nos cours publics. Il y aurait injustice à ne pas proclamer que c'est M. Soleil père qui a été l'initiateur de ce grand progrès.

Pour projeter, il faut de la lumière, beaucoup de lumière. Autrefois on n'avait que le soleil, mais on ne l'avait pas toujours. La lampe Carcel était insuffisante, le bec de gaz n'était pas beaucoup plus puissant, et les projections sans soleil étaient à peu près im-

possibles. Foucault nous a donc rendu un service immense lorsque, reprenant l'ancienne expérience de Davy, il a substitué aux charbons mercuriels si malsains du physicien anglais les crayons de charbon des cornues, rendant ainsi possible l'usage de la lumière électrique. Lorsque plus tard il imagina le régulateur qui donne de la fixité au point lumineux, on put dire avec vérité qu'il était le véritable inventeur de la lampe électrique.

Mais cette source lumineuse si puissante exige une pile d'au moins cinquante éléments ou l'emploi d'une machine magnéto-électrique ; elle est par cela même réservée aux grands établissements scientifiques. Fort heureusement qu'on peut la remplacer dans la plupart des cas par la lampe Drummond, qui, depuis la substitution du gaz d'éclairage à l'hydrogène, est devenue d'un emploi très-commode et peu dispendieux.

Il est regrettable qu'on n'ait jamais comparé systématiquement les intensités des diverses sources lumineuses employées par les physiciens. Péclet nous a appris que la lampe Carcel valait sept bougies. La lampe modérateur grand modèle est à peu près dans le même cas, quoiqu'elle brûle un peu plus d'huile (46gr au lieu de 42). Suivant Péclet, un bec de gaz à cheminée de verre a la même intensité ; mais, en forçant la flamme, on peut augmenter cette intensité de moitié. J'ai trouvé également que la lampe Drummond valait à peu près 15 carcels, mais que cette intensité pouvait aller jusqu'à 24 quand on forçait le jet d'oxygène, de manière à rendre la flamme bruyante, circonstance qu'il faut d'ailleurs éviter. D'autre part, les machines magnéto-électriques de l'*Alliance* sont garanties pour fournir une lumière égale à 250 carcels, de sorte que la lampe Drummond ne vaudrait que la dix-septième partie de la lampe électrique. Enfin je trouve, dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour* 1845, que, d'après M. Fizeau, la puissance photographique de la lampe électrique, d'intensité moyenne, serait à peu près le quart de celle du soleil ; faute d'expériences directes, admettons qu'il en soit de même pour la lumière, et nous pourrons dresser provisoirement le tableau suivant pour l'intensité des diverses sources lumineuses :

Bougie de l'Étoile de cinq à la livre................	$\frac{1}{7}$
Lampe Carcel de Péclet ou lampe modérateur grand modèle................................	1

Bec de gaz à cheminée de verre, flamme ordinaire...	1
» » flamme forcée.....	1 ½
Lumière Drummond, réglée à l'état ordinaire.......	15
» , réglée à l'état bruyant.........	24
Lumière électrique des machines de l'*Alliance*......	250
Lumière solaire..................................	1000

Les expériences que nous allons rapporter ont été faites avec la lumière Drummond. Quoique son intensité ne représente que 6 pour 100 de celle de la lampe électrique, elle est cependant suffisante pour la projection, même dans une salle qui reste encore assez éclairée pour qu'on puisse y écrire sans difficulté.

On a commencé par projeter des objets qui étaient dans un plan vertical ou parallèle au tableau. Mais beaucoup de phénomènes se passent dans un plan horizontal et l'on a besoin de les projeter également : la déviation du galvanomètre est dans ce cas. M. Duboscq a montré à la Société de Physique, dans la séance du 7 janvier 1876, un appareil qu'il a construit déjà en 1866 et qui remplit parfaitement ce but. Il a projeté ainsi divers phénomènes d'optique, de magnétisme, d'électricité, un galvanomètre d'une grande sensibilité, et plus récemment les phénomènes du magnétisme en mouvement d'Arago et des ondes mercurielles des frères Weber. Comme il était à la recherche de phénomènes à projeter, je lui ai indiqué les rotations électromagnétiques des liquides. Il me semble qu'ils sont encore peu connus, moins certainement qu'ils mériteraient de l'être ; je crois donc qu'il sera utile d'en présenter ici, en même temps que la description, la théorie sommaire.

On n'a employé jusqu'ici dans les cours de Physique qu'une seule méthode pour montrer la rotation électrodynamique ou électromagnétique des courants. Elle consiste à prendre pour courant mobile un fil de cuivre pouvant tourner autour de son milieu. L'électricité qui parcourt ce conducteur étant sollicitée à se mouvoir perpendiculairement au fil, et ne pouvant en sortir, puisqu'il est isolé, entraîne le fil dans son mouvement. Mais on peut se demander ce qui arriverait si l'électricité pouvait se mouvoir dans tous les sens sur une surface conductrice, si par exemple on remplaçait le fil par un vase, un petit chaudron en cuivre renversé et pouvant tourner sur une pointe placée en son milieu. Il

semble que l'électricité devrait obéir à l'impulsion qu'elle reçoit et se mouvoir sur la surface conductrice en laissant le vase immobile. Mais il n'en est rien ; le vase tourne avec la même facilité que le conducteur linéaire. Il faut donc que l'électricité éprouve de la part du conducteur une certaine résistance qui ne lui permet pas de se mouvoir sans l'entraîner dans son mouvement, et d'après cela on ne voit pas pourquoi les liquides ne tourneraient pas aussi bien que les surfaces solides.

Ce sont sans doute des considérations de ce genre qui ont déterminé Humphry Davy, en 1823, à provoquer la rotation électromagnétique du mercure. Il y réussit parfaitement en faisant arriver un fort courant dans le mercure par deux fils perpendiculaires à la surface et plaçant le liquide entre les pôles opposés de deux aimants puissants. Le mercure se mit à tourner en sens contraire autour des deux fils.

On peut se demander si le mercure est un liquide bien choisi pour mettre en évidence les rotations électromagnétiques. La force motrice étant due à la résistance du conducteur, il faut augmenter cette résistance ; d'autre part, la force accélératrice étant en raison inverse de la masse à mouvoir, il faut diminuer cette masse. Sous ce double rapport, les dissolutions aqueuses conviennent mieux que le mercure, puisqu'elles sont à la fois plus résistantes et moins denses. On répétera donc l'expérience de Davy facilement avec de l'eau acidulée, et voici comment nous avons réussi à la projeter.

La lampe Drummond envoie un faisceau rendu légèrement convergent sur la glace inclinée de l'appareil Duboscq (*fig.* 1 de sa Note). Ce faisceau est renvoyé verticalement sur la lentille éclairante qui est placée horizontalement au-dessus de la glace. Il passe ensuite à travers un électro-aimant creux et traverse le fond en glace d'une cuve placée sur l'électro-aimant, pour arriver à la lentille de projection et au prisme à réflexion totale, qui le renvoie sur le tableau. Dans la cuve on met de l'eau acidulée ($\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique et $\frac{1}{10}$ d'acide nitrique). On y fait arriver le courant de deux éléments Bunsen, à l'aide de deux fils de platine recourbés verticalement et plongeant dans l'eau à un tiers du diamètre du vase à partir des bords ; on peut changer à volonté le courant à l'aide d'un commutateur. Si l'électro-aimant est excité par une seconde pile de quatre éléments, on voit le liquide tourner en sens contraire autour

des deux électrodes : sa rotation est rendue très-apparente par un peu de lycopode qu'on a saupoudré à la surface.

Mais l'expérience de Davy est un cas compliqué. On observera des phénomènes beaucoup plus simples en plaçant le liquide (eau acidulée ou sulfate de cuivre) dans un vase annulaire. L'appareil que j'ai fait connaître ([1]) pour répéter ces expériences se prête à des combinaisons variées. On peut en projeter la plupart des effets en posant sur la lentille éclairante de l'appareil Duboscq une cuve annulaire à fond de verre et à parois en cuivre, dans laquelle on placera le liquide ; on le décomposera par une pile de quatre éléments. Un aimant cylindrique peut s'introduire par le bout dans l'anneau central, de telle sorte que le liquide soit tantôt au-dessous de l'aimant, tantôt entre les deux pôles. La rotation se produit avec une grande rapidité, et elle est rendue visible par le lycopode que l'on a tamisé à la surface du liquide.

Ces phénomènes s'expliquent facilement. Supposons que l'aimant ait son pôle austral en bas et d'abord au-dessus du liquide, et rappelons-nous que le pôle austral pousse le courant vers sa droite. Si le liquide est traversé par un courant *centrifuge,* il faudra donc qu'il prenne une rotation *gauche;* s'il est *centripète,* sa rotation sera *droite,* ou dans le sens des aiguilles d'une montre : le changement de sens s'obtiendra facilement avec un commutateur. Si l'aimant est descendu, de sorte que son pôle inférieur soit au-dessous du liquide, l'action de ce pôle changera de signe, celle du pôle supérieur ne changera pas ; mais, de discordante qu'elle était tout à l'heure, elle deviendra concordante avec celle de l'autre pôle. On verra donc le liquide tourner en sens contraire du mouvement précédent, mais avec plus de rapidité. Puisque la rotation du liquide change de signe avec la position de l'aimant, elle doit donc être nulle dans certains cas : si l'on observe attentivement, on verra que cela arrive lorsque l'extrémité de l'aimant est un peu au-dessous du liquide. Le point neutre de l'aimant est donc très-près de son extrémité, beaucoup plus près de l'extrémité que le pôle déterminé par la règle de Coulomb.

Dans le cours de mes premières recherches sur la rotation élec-

---

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XVI, p. 206.

tromagnétique des liquides ([1]), j'ai été amené à reconnaître que l'action intérieure d'un aimant creux et celle d'une bobine creuse polarisée de la même manière agissent en sens inverse ; c'est-à-dire que l'introduction d'un noyau en fer creux dans une bobine creuse diminue l'action que cette bobine exerce à son intérieur. M. de la Rive ayant contesté cette loi, j'ai fait de nouvelles expériences pour l'établir, et j'ai été ainsi conduit à la construction d'un appareil spécial ([2]). L'expérience est également facile à projeter.

Plaçons sur la lentille éclairante de l'appareil Duboscq un appareil formé d'une bobine creuse, contenant un noyau en fer doux également creux ; dans son intérieur est un vase annulaire contenant de l'eau acidulée saupoudrée de lycopode. Les communications sont établies de manière qu'il est facile de faire passer à la fois le courant d'une pile (quatre éléments) dans l'électro-aimant et dans le vase. Dès que le courant passe, le liquide tourne d'abord faiblement ; mais sa rotation augmentera considérablement, si nous enlevons le noyau en fer. Elle diminuera de nouveau si nous replaçons le noyau, et, si ses dimensions étaient convenables, elle s'arrêterait tout à fait.

Telles sont les trois expériences fondamentales sur la rotation électromagnétique des liquides, et l'on voit avec quelle facilité elles se projettent avec l'appareil Duboscq.

Qu'on me permette d'insister, en finissant, sur un point de théorie soulevé par ces expériences. Nous avons trouvé sur l'aimant un point neutre, et nous avons constaté qu'il était plus près des extrémités que le pôle ; nous arriverions au même résultat dans toutes les expériences électromagnétiques. Cependant, quand on donne la théorie élémentaire de ces phénomènes, théorie qui suppose que l'action de l'aimant se réduit à ses deux pôles, on trouve toujours une ligne neutre passant par le pôle. Ce serait là un excellent moyen de trouver le pôle d'un aimant, car la position du point neutre se détermine avec une grande précision quand l'aimant agit sur un courant linéaire. Mais les prétendus pôles ainsi obtenus sont toujours trop rapprochés des extrémités. Mon attention a été attirée sur ce point précisément à propos de mes expériences sur la

---

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LV, p. 304.
([2]) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XVI, p. 70.

rotation électromagnétique des liquides, et j'ai dû reconnaître que les points neutres n'étaient pas les pôles et que la théorie élémentaire péchait par la base ([1]).

C'est, en effet, seulement dans le cas d'actions s'exerçant sur des points très-éloignés que l'on peut réduire un aimant à ses deux pôles. Mais il n'en peut plus être ainsi quand on lui demande de produire des actions mécaniques sur des points qui sont nécessairement très-rapprochés. Il faut considérer alors l'action de toutes les tranches : on peut seulement supposer une aimantation qui varie proportionnellement à la distance au centre, distribution reconnue vraie pour des aimants courts. Dans ce cas, les points neutres se séparent nettement des pôles et, pour les rotations électromagnétiques en particulier, la théorie les donne beaucoup plus près des extrémités ([1]).

Il est un autre point dans lequel la théorie élémentaire montre son insuffisance : c'est lorsque le niveau du liquide est au milieu de l'aimant. L'expérience montre que l'action est toujours maximum dans ce cas, tandis que la théorie élémentaire indique un minimum tant que la distance du courant à l'aimant est moindre que la moitié de sa longueur. La théorie complète, au contraire, montre que l'action de l'aimant est toujours maximum lorsque son milieu est au niveau du liquide, ce qui est tout à fait d'accord avec l'expérience.

Emploi de l'électricité pour transporter le mouvement à grande distance ; par M. Cadiat.

La transformation de l'électricité en travail a été prédite depuis longtemps par la science, et de nombreuses expériences sont venues confirmer cette déduction de la théorie mécanique de la chaleur. Mais cette découverte était restée jusqu'à présent la propriété exclusive des laboratoires, et l'application n'en avait pas été faite dans les ateliers. On peut dire aujourd'hui que l'emploi de 'électricité pour les transmissions de mouvement à grande dis-

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. VI, p. 74.

tance est un fait acquis à l'industrie ; car, depuis un mois, je mets ce procédé en pratique, et, pour commander un outil fort éloigné de la machine motrice, je n'emploie pas d'autre intermédiaire que l'électricité.

Voici dans quelles conditions cette application a été faite ; je pense qu'un historique en quelques mots ne sera pas inutile, parce qu'il montrera comment j'ai été conduit à demander à l'électricité la solution d'un problème que la Mécanique ne pouvait donner dans des conditions pratiques.

La Société du val d'Osne possède à Paris un atelier de galvanoplastie destiné au cuivrage de la fonte. L'électricité y est fournie par une machine Gramme fonctionnant jour et nuit saus interruption. Vu la disposition des lieux et la distance qui sépare cet atelier du bâtiment central, il était impossible de commander cette machine par le moteur à vapeur de l'usine, qui d'ailleurs ne marche que le jour. Nous avions donc été obligés, dès le principe, d'affecter un moteur spécial à la machine électrique. C'était d'abord une locomobile que nous avons remplacée depuis peu par un moteur à gaz, qui nous sert encore aujourd'hui à gouverner la machine pendant la nuit.

Mais pour le travail de jour, j'ai eu l'idée d'emprunter le mouvement au moteur de l'usine, en utilisant à cet effet deux machines Gramme à lumière, qui nous servaient à l'éclairage en hiver, et qui nous étaient inutiles en ce moment.

L'une de ces machines, que nous appellerons le *producteur* d'électricité, fut attelée sur l'arbre de couche du moteur à vapeur de l'usine. La seconde machine, *transformateur* d'électricité, fut placée dans l'atelier de galvanoplastie. Les deux pôles des deux machines furent reliés ensemble par un conducteur, de telle sorte que le courant produit dans la première fût renvoyé dans la seconde. Il s'y transforma en travail, et l'arbre de cette machine fut animé d'un mouvement de rotation rapide. Nous avions donc une force motrice à notre disposition, et elle était suffisante pour mettre en mouvement la machine à galvanoplastie. Le problème était donc résolu, et le travail moteur nous était transmis à 150^{m} de distance, sous forme de courant, par le moyen d'un simple fil de cuivre.

Depuis un mois que ce système fonctionne, il ne s'est pas pro-

duit un moment d'arrêt ni la moindre irrégularité. Aucune surveillance n'est nécessaire. La manœuvre est aussi simple que possible, car, pour produire ou arrêter le mouvement, il suffit de serrer ou de desserrer un des balais du transformateur : ce n'est qu'une vis à tourner.

On a encore la faculté de modérer la vitesse à son gré, en interposant sur le trajet du conducteur une résistance, sous forme d'un fil plus ou moins long. Ainsi, le transformateur faisant 750 tours, quand il actionne la machine à galvanoplastie, si, sur le câble qui l'alimente, on interpose un fil de cuivre de 2^{m} de long et de $1^{mm},5$ de diamètre, la vitesse diminue de 40 tours; avec un fil de fer de $1^{m},50$ de long et de $0^{mm},8$ de diamètre, la vitesse baisse de 100 tours.

Quel est le rendement? Telle est la question qui se pose naturellement. Des essais au frein de Prony, faits sur le transformateur, ont accusé une moyenne de 50^{kgm}. Mais je ne puis encore donner de chiffres exacts sur la force absorbée par le producteur; car il est attelé avec d'autres outils sur un arbre de couche. Tout ce que je peux dire, c'est que cette force n'est pas considérable ; car le mécanicien de la machine à vapeur ne s'aperçoit ni de la mise en marche ni de l'arrêt de la machine à galvanoplastie. Or le moteur à vapeur n'est que de dix^{ch}. Quand le producteur servait à l'éclairage, chaque fois qu'on le mettait en mouvement, toute la transmission de l'atelier éprouvait aussitôt un ralentissement considérable (on compte généralement qu'une machine à lumière prend 2 chevaux de force).

Ce n'est certes pas là le dernier mot de la question, et il est bien difficile d'admettre que nous soyions arrivés du premier coup, sans la moindre modification, au rendement maximum. Nous avons utilisé deux machines faites pour la lumière et pour lesquelles on n'avait pas prévu une autre destination.

Remplissent-elles toutes les conditions nécessaires pour la production de force motrice. Ont-elles justement les dimensions voulues? Faut-il que les deux machines soient exactement semblables? La première doit-elle fournir plus de tension et de quantité que la seconde? Il y a bien des questions de cette sorte qui se posent naturellement. L'avenir y répondra.

SÉANCE DU 15 AVRIL 1878.

(*Séance de Pâques.*)

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 7 heures et demie.

Cette séance est consacrée à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année. Les expériences et les appareils dont la liste est donnée ci-après avaient été disposés d'avance ; les auteurs ont donné les explications qui leur étaient demandées :

Expériences d'acoustique et d'induction ; par M. Bourbouze.

Relations entre la chaleur, la conductibilité et l'élasticité ; par M. Jannettaz.

Divisibilité de la lumière électrique. — Canalisation des courants électriques ; par M. Jabloschkoff.

Nouveau relais ; par M. Tommasi.

Lunette spectroscopique. — Lunette astronomique avec prisme à réflexion totale. — Appareil de M. Jamin pour la polarisation rotatoire elliptique ; par M. Lutz.

Lampe électrique à rhéophores circulaires obliques ; par M. Reynier.

Enregistreur de l'évaporation ; par M. Marié-Davy.

Aimants circulaires ; par M. Duter.

Loch à cadran. — Dromographe ; par M. Marey.

Électromètre Thomson enregistreur ; par M. Rédier.

Téléphone Bell.

Influence d'une action mécanique sur la sursaturation ; par M. Gernez.

Emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations lumineuses colorées ; par M. Rosenstiehl.

Appareil pour la liquéfaction des gaz ; par M. Cailletet.

Polyscope électrique. — Explorateur électrique. — Petit appareil électro-médical ; par M. Trouvé.

Moteurs électrodynamiques ; par M. Mascart.

Téléphone à courant de pile. — Téléphone à ficelles. — Téléphone à mercure ; par M. A. Bréguet.

Expériences frigorifiques au moyen du chlorure de méthyle ; par M. Vincent.

Projections à l'aide de l'appareil vertical des ondes liquides, de l'expérience de Foucault et des expériences de M. Bertin sur la rotation des liquides électrisés ; par M. Duboscq.

Nouveau spectroscope à vision directe ; par M. Thollon.
Appareil téléphonique ; par M. Yvon.
Prisme à angle variable avec auge en caoutchouc. — Nouvelle lanterne de projection. — Appareil de M. Jannettaz pour l'étude de la propagation de la chaleur dans les cristaux ; par M. Laurent.
Téléphone à conductibilité liquide ; par M. Salet.
Foyers calorifiques du Dr Paquelin.
Balance de Plattner, par M. Brewer.
Expériences avec le phonographe d'Edison.
Plume électrique d'Edison.
Nouvel hygromètre à condensation ; par M. Alluard.
Production des systèmes laminaires de Plateau ; par M. Terquem.

SÉANCE DU 3 MAI 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 5 avril est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Baudot, employé des lignes télégraphiques, à Paris; Douceur, directeur des postes et télégraphes du département des Deux-Sèvres ; Guérout, sous-directeur de la maison Ruhmkorff, à Paris ; Hostein, professeur au lycée de Nancy ; Hugueny, professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Marseille ; Laleu, conducteur des ponts et chaussées, à Melun ; Loir, inspecteur des lignes télégraphiques, à Lyon ; Parayre (l'Abbé), licencié ès-Sciences physiques, à Paris ; Richard, inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, à Paris ; Ritter, professeur de Chimie à la Faculté de Médecine de Nancy ; L. de Sivry, rédacteur au Ministère des Affaires étrangères.

M. Mouton résume les recherches qu'il a faites sur les modifications imprimées par la réflexion métallique aux rayons calorifiques obscurs polarisés.

M. du Moncel présente, au nom de M. Gaiffe, un instrument destiné à estimer rapidement la force électromotrice d'un généra-

teur électrique. Il repose sur ce fait que, si on lance successivement le courant de diverses piles dans un conducteur dont la résistance soit assez forte pour qu'on puisse négliger devant elle la résistance propre du générateur, l'intensité de chaque courant est proportionnelle à la force électromotrice de la pile qui l'a produit. L'instrument de M. Gaiffe porte avec lui l'aiguille galvanométrique destinée à la mesure ; le cercle sur lequel elle se meut a été gradué à l'avance et donne immédiatement la force électromotrice en unités magnétiques.

M. Mascart présente quelques observations relatives aux précautions à prendre pour l'isolement des diverses pièces qui servent aux recherches électriques et en particulier à l'électricité atmosphérique. Il décrit diverses formes dans lesquelles l'isolement est produit par une colonne de verre toujours placée dans un endroit clos renfermant de l'acide sulfurique.

Sur la réflexion métallique des rayons calorifiques obscurs polarisés ; par M. L. Mouton.

Avant de résumer ce travail ([1]), il n'est pas inutile, je crois, d'énoncer les lois relatives à la réflexion de la lumière, qui résultent surtout des études expérimentales de M. Jamin :

I. *Rappel des lois relatives à la réflexion de la lumière.* — 1° Si l'on fait réfléchir un nombre quelconque de fois sur un miroir quelconque un rayon polarisé dans les azimuts déterminés par le plan d'incidence et le plan perpendiculaire (azimuts principaux), il reste toujours polarisé dans le même plan après la réflexion.

Ce fait a été établi expérimentalement par Brewster pour le verre et les métaux ([2]); bien qu'il découle naturellement de la loi de symétrie appliquée à l'idée qu'avec Fresnel nous nous faisons

([1]) Voir *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XIII, p. 229 et suiv.
([2]) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XIX, p. 296.

d'un rayon polarisé, il n'en doit pas moins être placé en tête de toute étude purement expérimentale des phénomènes de la réflexion.

Combiné avec le principe de la coexistence des petits mouvements, il constitue en effet la base de tous les raisonnements et de toutes les méthodes usités dans ce genre de recherches. Eux établis, pour étudier l'action de la réflexion sur un rayon primitivement polarisé dans un azimut quelconque, on le décompose en deux, polarisés dans les azimuts principaux ; la direction de leurs vibrations n'ayant pas été changée par la réflexion, ils n'ont pu éprouver que des changements de phases et des variations d'amplitude.

Les variations d'amplitude peuvent s'exprimer par la multiplication des amplitudes incidentes par deux nombres I (vibration parallèle au plan d'incidence) et J (vibration perpendiculaire à ce plan), ces deux nombres étant supposés toujours positifs et évidemment au plus égaux à l'unité.

Un changement quelconque produit dans la phase d'un mouvement vibratoire peut toujours être considéré comme résultant d'un certain chemin parcouru dans l'air ; le phénomène de la réflexion peut ainsi s'assimiler à la traversée d'une lame cristalline, traversée qui, convertie en air, donne un chemin d pour la vibration parallèle au plan d'incidence, et un chemin d' pour l'autre.

Le nombre $\frac{d-d'}{\lambda}$ est la *différence de phase* produite par la réflexion pour une lumière de longueur d'onde λ. Par raison de symétrie, il est évidemment nul pour l'incidence normale ([1]).

([1]) Il se produit ici, à l'observation, un fait particulier qu'il faut signaler. Par suite du retournement de l'observateur, qui se place naturellement de façon à recevoir dans l'œil le rayon réfléchi comme il y recevait le rayon incident, la vibration située dans le plan d'incidence paraît avoir changé de signe, ou si l'on aime mieux avoir subi un retard d'une demi-onde. Ainsi, à l'incidence normale, un rayon primitivement polarisé dans un azimut quelconque paraît l'etre après la réflexion dans l'azimut symétrique par rapport aux plans principaux; c'est que l'observateur s'est retourné, et qu'il n'en continue pas moins à définir par sa droite ou sa gauche la direction positive de l'axe de coordonnées situé dans le plan d'incidence. Je crois qu'il est naturel de ne pas faire entrer cette demi-longueur d'onde dans l'expression physique du phénomène; la différence de phase est alors bien nulle à l'incidence normale, et les résultats d'observation ainsi modifiés se trouvent immédiatement comparables à ceux que fournissent les théories mécaniques, où naturellement on conserve toujours le même système d'axes coordonnés.

Les recherches ont surtout porté sur la détermination pour les diverses incidences du rapport $\frac{J}{I}$ et du nombre $\frac{d-d'}{\lambda}$.

Voici les faits généraux qui se sont trouvés ajoutés à la loi de Brewster énoncée plus haut:

2° La différence de phase partant de o à l'incidence normale atteint pour tous les corps la valeur $\frac{1}{2}$ à l'incidence rasante ou de 90 degrés; cette valeur est positive pour les métaux et les substances transparentes d'indice supérieur à 1,46 environ.

3° La forme de la courbe représentative de ces valeurs (les longueurs proportionnelles aux angles d'incidence étant prises pour abscisses) diffère avec les substances réfléchissantes; ainsi, pour les métaux, elle paraît s'élever d'une façon continue depuis l'incidence o jusqu'à 90°; pour le verre, elle reste sensiblement confondue avec l'axe des abscisses jusqu'à l'incidence brewstérienne ou de polarisation; puis, s'élevant brusquement, elle atteint une valeur sensiblement égale à sa limite supérieure $\frac{1}{2}$.

4° Pour une même substance réfléchissante, la forme de la courbe se modifie d'une façon continue, quand la longueur d'onde de la lumière réfléchie se modifie elle-même d'une façon continue.

5° Les valeurs du rapport $\frac{I}{J}$, partant évidemment de l'unité pour l'incidence normale, paraissent y revenir pour l'incidence rasante.

6° La forme de la courbe qui représente ces valeurs est également propre à chaque substance et à chaque longueur d'onde.

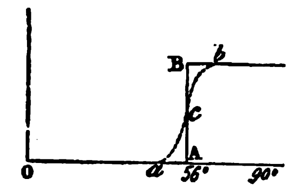
7° Quelle que soit la longueur d'onde, la valeur $\frac{I}{J}$ passe par un minimum à l'incidence pour laquelle la différence de phase est 0,25, ou, comme on dit souvent, la différence des retards $(d-d')$, un quart d'onde.

Pour bien comprendre les avantages de cette manière d'envisager les phénomènes, rapportons-y d'abord les résultats classiques de Fresnel relatifs au verre. Fresnel obtient pour les deux coefficients des amplitudes $-\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)}$ et $-\frac{\tang(i-r)}{\tang(i+r)}$, et aucune différence de phase, ce qui n'a rien de surprenant, puisqu'il n'en suppose pas tout d'abord.

Dans la façon de voir proposée plus haut, nous devrons prendre

pour I et J les valeurs positives des nombres $\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)}$ et $\frac{\operatorname{tang}(i-r)}{\operatorname{tang}(i+r)}$; par suite, la courbe des rapports $\frac{I}{J}$ est donnée par $\frac{I}{J}=\frac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}$, le deuxième membre étant toujours pris avec sa valeur absolue positive. On voit que le rapport $\frac{I}{J}$ part de 1 à l'incidence normale, y revient à l'incidence rasante, et passe par un minimum qui est zéro pour $i+r=90°$: c'est l'angle de polarisation ou incidence brewstérienne. L'action de la longueur d'onde se fait sentir par la présence simultanée des angles i et r.

Quant à la courbe des différences de phase, elle se confond avec l'axe des incidences jusqu'à $i+r=90°$; là, elle s'élève en une droite AB normale à l'axe des abscisses jusqu'à une valeur $\frac{1}{2}$, où elle s'achève par une parallèle à cet axe. On voit sans peine que cette différence d'une demi-onde vient remplacer le changement de signe du terme $\frac{\operatorname{tang}(i-r)}{\operatorname{tang}(i+r)}$.



Mais il va nous être facile de comprendre ce qu'ont ajouté à ces résultats les expériences précises de M. Jamin.

Les coefficients de Fresnel sont trouvés exacts, mais les angles A et B de la courbe des différences de phase doivent être adoucis, et la différence brusque d'une demi-onde doit être remplacée par une marche rapide, mais continue, grossièrement représentée par la ligne ponctuée *ab*; et c'est au point *c*, passage par 0,25, que correspond l'incidence brewstérienne, minimum zéro du rapport $\frac{I}{J}$.

La réflexion sur le verre et les corps transparents ne diffère ainsi que par la forme des courbes qui la caractérisent de la réflexion sur les métaux.

Je me suis proposé de rechercher comment se modifient les lois précédentes, quand, sortant du spectre lumineux, on fait réfléchir sur des miroirs métalliques des radiations obscures purement calorifiques, occupant, dans le spectre général, des positions bien déterminées de plus en plus distantes du rouge.

Je résumerai successivement la disposition expérimentale, le mode d'opération et de calcul, et les calculs que j'ai déjà obtenus.

II. *Disposition expérimentale.* — La source de chaleur est la lampe de MM. Bourbouze et Wiesnegg, dans laquelle, comme on le sait, un capuchon de toile de platine est maintenu au rouge blanc par la combustion du gaz d'éclairage et d'un courant d'air amené par une trompe d'eau à une pression constante d'environ 20 centimètres de mercure. Dans ces conditions, cette source est d'une remarquable constance, et elle présente de plus l'avantage d'un grand développement du spectre calorifique obscur.

La lampe est placée dans une première pièce, à 30 centimètres environ de la cloison qui sépare cette pièce de la voisine : cette cloison est percée d'un trou où est encastrée, à la hauteur de la lampe, une lentille de verre ordinaire de 15 centimètres de foyer. Dans la seconde pièce, sur un solide banc d'optique articulé, se trouvent : 1° un énorme prisme biréfringent avec alidade et cercle divisé, à l'image extraordinaire redressée et achromatisée : c'est le polariseur ; 2° une plaque de verre à inclinaison variable et mesurée autour d'un axe horizontal, destinée à compenser les effets de polarisation produits par le prisme disperseur qu'on va voir (¹) ; 3° un écran percé d'une fente sur laquelle se forme l'image extraordinaire de la lampe ; l'image ordinaire, en tournant, est, dans toutes les orientations du polariseur, interceptée par l'écran ; plus loin, se trouve une lentille ; puis, au centre d'une articulation du blanc, le miroir sur un cercle gradué, mesurant l'incidence. Le faisceau réfléchi est reçu sur un prisme de flint blanc, puis traverse un nouveau prisme biréfringent, analyseur semblable au polariseur, et se résout finalement en deux spectres dont l'extraordinaire demeure fixe et pur pendant la rotation de l'analyseur, l'ordinaire

(¹) J'ai emprunté l'idée de cette lame compensatrice au travail de MM. Fizeau et Foucault (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXX, p. 147).

tournant autour sans jamais empiéter sur lui. Le spectre extraordinaire tombe sur une pile thermo-électrique linéaire, dont l'ouverture est, comme celle de la fente, de 1 millimètre environ, communiquant avec un excellent galvanomètre de M. Ruhmkorff (¹). Cette pile était munie d'une vis permettant de la déplacer parallèlement aux bandes du spectre.

III. *Mode d'opération et de calcul.* — J'ai opéré sur trois longueurs d'onde que je désigne par λ_1, λ_2, λ_3, réparties dans la partie obscure du spectre, et sensiblement symétriques par rapport au rouge extrême, λ_1 du jaune, λ_2 du vert bleu et λ_3 du bleu indigo. Ayant été témoin d'une partie des expériences par lesquelles M. Desains a étudié la rotation imprimée par une plaque de quartz perpendiculaire aux plans de polarisation des rayons calorifiques obscurs (²), j'ai pu, par le même procédé, fixer cette rotation pour les trois longueurs d'onde que j'ai employées. Avec une plaque de quartz droit, qui donnait à la lumière du sodium une rotation exacte de 100 degrés, les rotations correspondant aux radiations λ_1, λ_2, λ_3 ont été respectivement 32, 16 et 10 degrés. En prenant la loi de Biot, au moins comme première approximation, on obtiendrait

$$\lambda_1 = 0^{mm},0010, \quad \lambda_2 = 0,0014, \quad \lambda_3 = 0,0018;$$

ces chiffres, dont le dernier est supérieur au triple de la longueur d'onde des raies D, donnent une idée du secours qu'on est en droit d'attendre de l'étude des phénomènes calorifiques au point de vue de l'établissement ou de la vérification des théories optiques.

Je n'avais pas à démontrer le principe de Brewster relativement aux rayons calorifiques obscurs. Dès 1849, MM. de la Provostaye et P. Desains étudiaient (³) ce que devenaient, après leur réflexion, des rayons calorifiques primitivement polarisés dans l'un ou l'autre des azimuts principaux, constataient que la réflexion ne modifie pas leur plan de polarisation et établissaient même les lois de la

(¹) On arrive facilement à apprécier le $\frac{1}{10}$ de degré, ce qui suffit; le galvanomètre n'étant jamais dans un repos absolu, quelques soins que l'on prenne d'éviter les mouvements de l'air autour de la pile, les méthodes d'amplification des angles ne présentent ici, le plus souvent, que des avantages illusoires.

(²) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 mai 1877, p. 1056.

(³) *Annales de Chimie et de Physique*, 3ᵉ série, t. XXVII, p. 109 et suiv.

variation de leur intensité avec l'incidence. Aussi, dans toutes les séries d'expériences, la vérification de cette première loi était mon critérium du bon réglage des divers appareils et de l'état du galvanomètre, les déviations de celui-ci devant, dans les différents azimuts, indiquer des intensités conformes à la loi de Malus.

Quand le rayon incident est polarisé dans un azimut autre que zéro ou 90 degrés, la réflexion le rend en général elliptique. C'est donc aux propriétés d'un tel rayon qu'on doit demander les procédés expérimentaux destinés à fournir le rapport $\frac{I}{J}$ et la différence de phase $\frac{d-d'}{\lambda}$ définis plus haut.

Je ne ferai qu'énoncer ici celles de ces propriétés sur lesquelles je me suis appuyé, renvoyant pour leur démonstration aux *Études sur la réflexion métallique de la lumière* de M. Jamin ([1]).

Le plan d'incidence est horizontal; l'observateur recevant le rayon réfléchi en pleine poitrine, je prends l'axe des x dans le plan d'incidence, et la partie positive de cet axe toujours dirigée vers la droite de l'observateur, supposé inconscient du demi-tour qu'il a opéré; l'axe des y est perpendiculaire au précédent et se dirige de bas en haut; les angles seront comptés, comme d'habitude, de ox vers oy.

1° Mesure de $\frac{I}{J}$. Si la vibration incidente fait un angle a avec l'axe des x, ses deux composantes ont pour amplitudes $\cos a$ et $\sin a$, et après la réflexion $I\cos a$ et $J\sin a$. L'analyseur placé successivement dans les azimuts 0 et 90 degrés, on aura deux lectures galvanométriques proportionnelles à $J^2\cos^2 a$ et $J^2\sin^2 a$. Bien que, par les vérifications de la loi de Malus dont j'ai parlé tout à l'heure, je fusse assuré de la proportionnalité des déviations galvanométriques aux intensités calorifiques dans les limites où j'opérais, j'ai préféré toujours disposer de l'angle a dans cette première mesure, de façon à rendre à peu près égales les deux lectures.

Si α et β sont ces deux déviations, on a

$$\frac{I}{J} = \operatorname{tang} a \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}};$$

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XIX, p. 321 et suiv.

2° Mesure de $\frac{d-d'}{\lambda}$. Après avoir traversé un prisme de spath dont on n'utilise que l'image extraordinaire, un rayon elliptique présente, quand la section principale du prisme coïncide avec le grand axe de l'ellipse, un maximum d'intensité; avec le petit axe, un minimum; et, si l'on mesure ces intensités dans des couples d'azimuts α et $\alpha+90°$, en allant du grand axe au petit, la première l'emportera sur la seconde, tant que l'azimut α sera compris entre le grand axe et 45 degrés de cet axe, pour lui devenir inférieure dès que α aura dépassé cette bissectrice des axes.

On peut donc, par ce moyen, fixer l'azimut des bissectrices des axes de l'ellipse, et on le peut d'autant mieux que c'est autour de ces bissectrices qu'une même variation $\Delta\alpha$ produit dans les deux lectures rectangulaires une plus grande différence. J'ai pu, dans les bonnes séries, le fixer à $\frac{1}{2}$ degré près.

A ces avantages, déjà utilisés par de Senarmont pour la lumière, s'en joignent de spéciaux aux études calorifiques : d'abord il n'est demandé à la source de chaleur que d'être constante pendant la durée de chaque couple d'observations, et j'ai pu rendre cette durée très-courte par un mouvement spécial avec buttage, permettant de faire tourner rapidement l'analyseur de 90 degrés sans l'approcher de la pile ; en second lieu, les mesures se terminent par deux valeurs égales des déviations galvanométriques : c'est un avantage qu'apprécieront ceux qui ont eu l'occasion de se servir de galvanomètres très-sensibles.

L'azimut des bissectrices des axes de l'ellipse étant ainsi déterminé, on en tire l'azimut ω des axes eux-mêmes en ajoutant ou retranchant 45 degrés. On peut, d'ailleurs, faire autant de mesures qu'on le veut, en faisant varier l'azimut de polarisation de la vibration incidente.

Cela fait, si l'on pose

$$\frac{I\cos a}{J\sin a}=\cot\alpha \quad \text{et} \quad 2\pi\left(\frac{1}{2}-\frac{d-d'}{\lambda}\right)=\delta,$$

on a

$$\cos\delta=\frac{\tan g 2\omega}{\tan g 2\alpha},$$

qui détermine δ et par suite $\frac{d-d'}{\lambda}$ (¹).

(¹) Le lecteur familiarisé avec les études de de Senarmont et de M. Jamin établira

IV. *Résultats obtenus.* — J'ai opéré jusqu'à présent sur trois miroirs d'acier, de métal des miroirs et de verre platiné. Les tableaux suivants résument les résultats que j'ai obtenus :

Acier.

Incidences.	Différences de phases $\frac{d-d'}{\lambda}$.	Rapport $\frac{I}{J}$.
Longueur d'onde λ_1.		
45°	Insensible.	0,86
50	0,02	0,84
55	0,03	0,82
60	0,05	0,80
65	0,09	0,76
70	0,15	0,70
75	0,19	0,62
79	0,25	0,53
80	0,26	0,55
82	0,31	0,58
Longueur d'onde λ_2.		
50	0	0,88
55	0,01	0,85
60	0,03	0,78
65	0,06	0,75
70	0,10	0,64
75	0,15	0,62
80	0,20	0,55
81	0,22	0,51
82	0,25	0,51
83	0,29	0,55

---

sans peine cette formule. On trouvera dans le Mémoire (*Annales de Chimie et de Physique*, 5ᵉ série, t. XIII, p. 239) dont je donne ici un extrait la discussion relative au choix à faire parmi l'infinité d'arcs ayant même cosinus et le calcul complet d'une expérience.

Acier.

Incidences.	Différences de phases $\frac{d-d'}{\lambda}$.	Rapport $\frac{I}{J}$.
Longueur d'onde λ_3.		
50	0	0,90
60	0,01	0,80
75	0,12	0,60
80	0,18	0,55
82	0,22	0,51
83,5	0,25	0,49
Métal des miroirs.		
Longueur d'onde λ_1.		
60°	0,08	0,88
65	0,11	0,80
70	0,15	0,70
75	0,20	0,61
80	0,30	0,65
Longueur d'onde λ_2.		
65	0,06	0,84
70	0,10	0,78
75	0,16	0,70
80	0,26	0,62
Verre platiné.		
Longueur d'onde λ_1.		
65	0,07	0,72
70	0,12	0,54
75	0,19	0,48
80	0,27	0,46

Si l'on examine chacun des tableaux précédents, on y voit d'abord se reproduire les résultats généraux que j'ai rappelés plus haut, relatifs à la lumière, à savoir :

1° Les différences de phases partant de 0 s'élèvent progressivement à mesure que s'accroît l'angle d'incidence ;

2° La valeur de $\frac{I}{J}$ partant de 1 à l'incidence normale va en diminuant, passe par un minimum, puis tend de nouveau vers l'unité;

3° La valeur minimum du rapport $\frac{I}{J}$ correspond toujours à l'incidence pour laquelle $\frac{d-d'}{\lambda} = 0,25$.

Si maintenant, pour un même miroir, on compare les séries des différences de phase correspondant aux diverses longueurs d'onde, il s'en dégage un enseignement qui a peut-être quelque importance.

Je vais mettre en regard, dans le tableau suivant, pour l'acier, les valeurs successives des différences de phases relatives à la longueur d'onde du thallium (0^{mm},000534, Mascart), du sodium [1] (0^{mm},0005888), et celles qui correspondent aux longueurs d'onde plus grandes encore λ_1, λ_2, λ_3, dont on a vu plus haut les valeurs approchées :

Incidences.	Thallium. 0,000534.	Sodium. 0,000588.	λ_1 0,0010.	λ_2 0,0014.	λ_3 0,0018.
40........	0,040	00,30	0	0	0
45........	0,060	0,045	0	0	0
50........	0,080	0,065	0,02	0	0
55........	0,100	0,085	0,03	0,01	0
60........	0,115	0,105	0,05	0,03	0,01
65........	0,155	0,145	0,09	0,06	»
70........	0,200	0,185	0,15	0,10	»
75........	0,250	0,240	0,19	0,15	0,12
76........	»	0,250	»	»	»
79........	»	»	0,25	»	»
80........	0,320	0,310	0,26	0,20	0,18
82........	»	»	0,31	0,25	0,22
83,5......	»	»	»	»	0,25

Ce tableau dessine nettement la marche du phénomène, au moins

[1] Ces mesures ont été faites avec l'appareil et le compensateur de M. Jamin, construits par M. Duboscq. La source lumineuse était un brûleur Laurent avec sel marin fondu pour le sodium, et des grains d'alun de thallium pour le thallium. Une cuve remplie d'une dissolution de chlorure de cuivre arrêtait la raie jaunâtre du thallium, et surtout celle du sodium, qu'il est si difficile d'éviter.

en ce qui concerne l'acier. Ainsi la différence de phase $\frac{d-d'}{\lambda}$ est, à une incidence de 40 degrés, 0,040 pour la lumière du thallium, 0,030 seulement pour le sodium, et insensible pour les radiations obscures. A 50 degrés, tandis qu'on a déjà 0,080 pour le vert, 0,065 pour le jaune, on commence à avoir 0,02 pour λ_1 et rien encore pour les deux autres.

La différence de phase ne devient appréciable qu'à 55 degrés pour λ_2, à 60 degrés pour λ_3. Aussi, tout en se tenant inférieures, les différences de phases relatives aux plus grandes longueurs d'onde croissent-elles avec l'incidence d'une façon d'autant plus rapide que ces longueurs d'onde sont plus grandes.

Si l'on considère en particulier le point où la différence de phase est 0,25, ou autrement dit où la différence de marche est $\frac{\lambda}{4}$, incidence de polarisation rétablie après deux réflexions, comme la désigne M. Jamin, on le trouve à 75 degrés pour le vert, à 76 degrés pour le jaune, à 79 degrés pour λ_1, 82 degrés pour λ_2, 83 $\frac{1}{2}$ degrés pour λ_3.

Des faits analogues se constatent dans les deux autres miroirs que j'ai étudiés.

Ainsi, pour ces corps, la courbe représentative des différences de phases reste d'autant plus longtemps confondue avec l'axe des incidences que la longueur d'onde est plus grande; par suite, l'intervalle est d'autant plus long pendant lequel la réflexion produira simplement une rotation du plan de polarisation incidente, tandis que d'autant plus court se trouve celui dans lequel la lumière ou la chaleur réfléchie sera polarisée elliptiquement.

Galvanomètres de force électromotrice et d'intensité, par M. A. Gaiffe.

Ces galvanomètres ne sont pas des instruments de très-grande précision, mais ils permettent de déterminer, à 1 centième près environ, rapidement et par simple lecture, la force électromotrice et l'intensité d'un courant.

Le cadre multiplicateur du galvanomètre de force électromotrice porte un fil d'une résistance considérable (environ 3000 unités de l'Association britannique), afin que celle du générateur électrique soit négligeable et que les déviations de l'aiguille aimantée soient très-sensiblement proportionnelles aux forces électromotrices.

Deux bobines additionnelles qu'on peut introduire dans le circuit, à l'aide d'une simple clef de rhéostat, permettent de rendre à volonté la résistance de l'instrument encore dix ou cinquante fois plus grande.

Le cercle gradué porte 60 divisions, 30 de chaque côté du zéro, qui sont soigneusement établies expérimentalement, à l'aide de courants de tensions connues. Chaque division représente $\frac{1}{10}$ de volt lorsque le galvanomètre est employé seul ; la première bobine additionnelle, en décuplant la résistance du circuit, décuple aussi la valeur des divisions, qui représentent alors des volts ; enfin la seconde bobine, en quintuplant encore la résistance, donne à chaque degré la valeur de 5 volts.

L'appareil permet ainsi de mesurer des forces électromotrices variant de 0,1 à 150 unités.

Le galvanomètre d'intensité offre la même disposition générale que le précédent, mais son cadre multiplicateur a une faible résistance, afin que les déviations ne dépendent plus que de l'intensité. De plus, le rhéostat est remplacé par des dérivations à l'aide desquelles, en dérivant les courants dans des proportions connues, on donne aux divisions des valeurs en rapport avec les intensités à mesurer.

Si le galvanomètre est seul dans le circuit, ses degrés représentent des dix-millièmes d'unité de l'Association britannique ; avec la première dérivation, les divisions représentent des centièmes ; enfin avec la seconde les divisions représentent des unités.

L'instrument permet de mesurer des intensités variant entre 0,0001 et 200 unités.

Il est rare que, dans les applications médicales en vue desquelles ces instruments ont été construits, et même dans les applications industrielles, on ait à mesurer des courants dont les forces électromotrices et les intensités ne soient pas comprises dans les limites fixées plus haut. Il serait, du reste, facile d'écarter ces limites autant que cela pourrait devenir nécessaire.

Supports isolants; par M. Mascart.

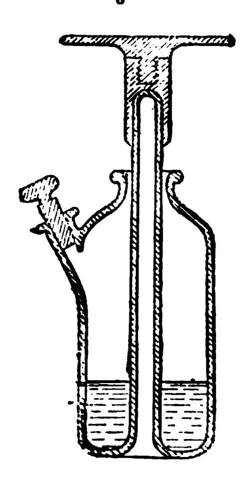
Sir W. Thomson a insisté souvent sur la nécessité d'isoler avec des soins particuliers les appareils destinés à l'étude de l'électricité statique ; il a fait remarquer que l'air et les gaz, même humides, n'interviennent que pour une très-faible part dans la déperdition, et que l'électricité s'échappe principalement par la couche d'humidité qui recouvre les supports et rend leur surface conductrice. Tous les électromètres construits d'après les indications de sir W. Thomson sont ainsi desséchés par de l'acide sulfurique liquide ou par de la pierre ponce imbibée du même acide.

Cette méthode s'est généralisée. Les corps que l'on veut maintenir isolés, tels que les appareils destinés à l'observation de l'électricité atmosphérique, peuvent être portés par des tiges de verre qui sont entourées d'un cylindre de ponce sulfurique, ou qui sont plongées dans un flacon en partie rempli d'acide sulfurique. Dans ce dernier cas, les tiges sont maintenues par des rondelles de plomb, ou bien peuvent être scellées dans un mastic peu attaquable, comme une couche de soufre ou de paraffine. Les appareils à plomb sont lourds et incommodes ; la fusion du soufre fait casser beaucoup de flacons, et la paraffine, sans être inattaquable, n'est pas assez solide. Ces supports sont excellents, au moins pour un usage temporaire ; mais, si l'on veut s'en servir d'une manière permanente, la disposition suivante paraît présenter beaucoup plus d'avantages.

Le support est un flacon dont le fond est remonté jusqu'au-dessus du col, de manière à constituer une tige centrale, et qui est muni d'une tubulure latérale, pour introduire et enlever l'acide. La distance de la tige au bord du col est très-petite, pour que l'atmosphère du flacon ne puisse se renouveler facilement. Sur cette tige on installe des montures de forme quelconque, plateaux, crochets, etc. En outre, pour éviter que l'acide sulfurique n'absorbe de l'humidité inutilement quand le support ne sert pas, il suffit de disposer sur la tige centrale une sorte de capuchon, monté à frottement, qu'on abaisse sur le col si l'on veut fermer le flacon, et qu'on relève de façon qu'il ne touche plus les bords quand on veut isoler la tige.

Un double pendule électrique posé sur un pareil support conserve très-longtemps sa divergence, même dans une salle remplie de monde; on peut montrer d'ailleurs, par une expérience très-simple, l'efficacité de cette disposition et l'insuffisance des tiges de verre exposées à l'humidité de l'air. On place sur un pareil support un double pendule à fils de coton, suspendu par une

Fig. 1.



tige de verre, même vernie à la gomme laque. Quand on électrise le pied de ce pendule en le mettant en communication, par exemple, avec un condensateur électrisé, les boules ne se repoussent pas d'abord, mais peu à peu l'électricité se propage le long de la tige de verre, les fils de coton commencent à se séparer vers la partie supérieure et bientôt après les boules s'écartent et se maintiennent à une certaine distance.

Les électromètres de sir W. Thomson sont quelquefois tellement bien isolés que la perte n'atteint pas $\frac{1}{100}$ en 24 heures; on peut obtenir un isolement de même ordre pour des corps électrisés dans l'air ordinaire, et diminuer ainsi, dans de grandes proportions, l'une des causes d'erreur les plus graves que l'on rencontre dans les expériences relatives à l'électricité statique.

SÉANCE DU 17 MAI 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Aubry, inspecteur des Lignes télégraphiques à Nancy; Auguez, inspecteur des Contributions indirectes à Orléans; de Barrau de Muratel, conseiller général du Tarn; Chaussegros, ingénieur, chef de traction au chemin de fer d'Orléans; Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique à Paris; Magne, inspecteur des Lignes télégraphiques à Amiens; Massieu, professeur à la Faculté des Sciences à Rennes; Federico Perez de Nueros, professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne); Raphael Roig y Torres, professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne); Roisin (Paul), ancien élève de l'École Polytechnique à Paris; Rossetti, professeur à l'Université de Padoue (Italie); Seignette (Adrien), licencié ès-Sciences à Paris; Thyrion, professeur au Collége de Fontainebleau; Wunschendorff, inspecteur des lignes télégraphiques à Toulon.

M. Gernez résume les résultats de ses travaux sur l'ébullition des liquides superposés non miscibles.

M. Émile Reynier présente un nouveau système de lampes électriques à incandescence, fonctionnant à l'air libre.

M. Mouton présente, au nom de M. Alluard, un nouvel hygromètre à condensation.

Sur l'ébullition des liquides superposés; par M. D. GERNEZ.

M. Magnus a annoncé, en 1836, que si l'on fait bouillir un mélange de deux liquides qui n'exercent pas d'action dissolvante l'un sur l'autre, la température du liquide bouillant est supérieure à la température normale d'ébullition du liquide le plus volatil sou-

mis à la même pression, mais que la température de la vapeur émise par ce mélange est inférieure à cette température d'ébullition. Par exemple, un mélange d'eau et de sulfure de carbone étant chauffé sous la pression de $752^{mm},2$, la température du liquide bouillant était 47°, celle de la vapeur $43^{\circ},5$, tandis que la température d'ébullition du sulfure de carbone seul sous la pression de $752^{mm},2$ est, d'après les expériences de M. Regnault, de $45^{\circ},75$.

Ces résultats ont été confirmés en 1854 par M. Regnault, qui a résumé en ces termes les diverses particularités du phénomène : « Les expériences que j'ai faites sur l'ébullition de deux liquides insolubles superposés, le plus volatil formant la couche inférieure, montrent que cette ébullition est toujours très-irrégulière et que le thermomètre, même lorsqu'il se trouve seulement dans la vapeur, éprouve de grandes variations suivant la manière dont la chaleur est appliquée au fond de la chaudière et suivant l'énergie plus ou moins grande de l'ébullition. Ce n'est que sous certaines pressions, et quand l'ébullition est très-modérée, que l'on trouve que le thermomètre plongé dans la vapeur indique une température qui s'éloigne peu de celle à laquelle la somme des forces élastiques des deux vapeurs isolées est égale à la pression de l'atmosphère qui s'oppose à l'ébullition » ([1]).

Plus tard, M. Is. Pierre est arrivé à des conclusions analogues qu'il a fait connaître dans un Mémoire ([2]) où il signale quelques faits singuliers restés depuis sans explication. Il trouve du reste que la température d'ébullition est toujours notablement supérieure à celle où la somme des tensions maxima des deux vapeurs est égale à la pression qui s'exerce sur le mélange.

En étudiant cette question dans ses détails, j'ai trouvé les conditions dans lesquelles il convient de se placer pour éviter les perturbations accidentelles du phénomène, pour reproduire à volonté et même exagérer le retard qu'il présente, et pour amener sûrement, sans le faire bouillir, le mélange à une température égale et même supérieure à la température normale d'ébullition du liquide le *moins volatil*. Il suffit, pour cela, de prendre les précautions qui

---

([1]) *Relation des expériences sur les machines à feu*, t. II, p. 742.

([2]) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXVI, p. 169, et *Comptes rendus*, t. LXXIV, p. 224 (1872).

assurent d'une manière générale le retard de l'ébullition, c'est-à-dire d'éliminer toutes les causes qui peuvent laisser dans le liquide des traces d'air ou de gaz suffisantes pour amorcer le phénomène. Grâce aux dispositions que j'ai indiquées dans un Mémoire antérieur ([1]), on peut chauffer dans un tube, jusqu'au delà de 100°, du sulfure de carbone couvert d'une couche d'eau distillée, sous la pression ordinaire de l'atmosphère sans en provoquer l'ébullition. Si l'on ne réalise qu'incomplétement les conditions expérimentales du retard de l'ébullition, on observe toutes les irrégularités signalées par M. Regnault et qui s'expliquent aisément.

Qu'arrivera-t-il, au contraire, si l'on se place dans des conditions telles que le retard de l'ébullition ne soit plus possible? C'est ce qu'il est facile de prévoir, en se laissant guider par les résultats acquis relativement au mécanisme de l'ébullition. Il résulte, en effet, des expériences mêmes de M. Regnault, que dans le vide un mélange de deux liquides sans action chimique l'un sur l'autre émet des vapeurs dont la tension est presque rigoureusement égale à la somme des tensions maxima des deux vapeurs à la même température et qu'il en est de même dans les gaz. Si donc on amène une petite bulle gazeuse à la surface de séparation de deux liquides superposés que l'on chauffe, cette bulle se saturera bientôt des vapeurs émises par les deux liquides, grossira et ne pourra rester en équilibre qu'autant que sa force élastique restera inférieure à la pression qu'elle supporte. Dès que la température ambiante se sera élevée, de manière que la somme des tensions maxima des deux vapeurs soit égale à la pression qui s'exerce sur la bulle, celle-ci devrait prendre un volume infini pour qu'il y eût équilibre; elle se dégagera donc, et, si l'on s'arrange de façon qu'il reste, après le dégagement, une amorce gazeuse à la surface de séparation des deux liquides, la production des bulles sera continue; en d'autres termes, il y aura ébullition.

Pour soumettre ces prévisions au contrôle de l'expérience, je me suis servi de tubes de verre, de $0^m,02$ à $0^m,03$ de diamètre, contenant les liquides superposés par couches de quelques centimètres et un thermomètre très-sensible qui en indiquait la tempé-

---

([1]) *Recherches sur l'ébullition* (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. IV, p. 335).

rature. Ces tubes étaient chauffés par la grande masse d'eau d'un bain-marie dont la température ne pouvait varier que très-lentement. Enfin, pour provoquer l'ébullition, j'ai fait usage d'une petite cloche à air obtenue en étranglant à la lampe un tube de verre à 0^{m},01 ou 0^{m},02 de son extrémité, et en usant obliquement le bord de cette cloche, de manière que, amené à la surface de séparation des deux liquides, son orifice soit ouvert, moitié dans l'un, moitié dans l'autre ; je ne laisse dans cette cloche qu'une bulle d'air très-petite qui suffit à amorcer l'ébullition et à l'entretenir pendant un temps quelconque.

J'ai reconnu ainsi que le mélange liquide entre en ébullition à une température qui ne diffère que d'une fraction de degré extrêmement petite de celle où la somme des tensions maxima des vapeurs des deux liquides est égale à la pression supportée; du reste, aucune perturbation ne se rencontre dans la marche du phénomène. Je citerai, par exemple, quelques expériences faites sur les divers mélanges étudiés par M. Regnault :

Sulfure de carbone et eau.

Pression supportée	765^{mm},35
Température d'ébullition observée, commune au mélange liquide et à la vapeur	43°,68
Somme des tensions maxima des deux vapeurs à cette température	7^{m}.44
Excès sur la pression supportée	1^{mm},29

Chlorure de carbone et eau.

Pression supportée	745^{mm},45
Température d'ébullition observée, commune au mélange liquide et à la vapeur	66°,17
Somme des tensions maxima des deux vapeurs	747^{mm},36
Excès sur la pression supportée	1^{mm},91

Benzine et eau.

Pression supportée	764^{mm},44
Température d'ébullition observée, commune au mélange liquide et à la vapeur	69°,43
Somme des tensions maxima des deux vapeurs	765^{mm},92
Excès sur la pression supportée	1^{mm},48

Les écarts entre les températures observées et celles où les sommes des forces élastiques maxima des vapeurs seraient égales aux pressions supportées sont donc assez petits pour qu'on puisse admettre que l'ébullition se produit exactement aux températures que l'on pourrait calculer d'après les Tables des forces élastiques, et qui sont celles où la somme des forces élastiques des deux vapeurs est égale à la pression exercée à la surface de séparation des deux liquides.

L'application de ce procédé conduit à une expérience intéressante. On prend une petite cloche à ébullition, on y introduit de l'eau qui doit rester adhérente à ses parois par capillarité, on achève de la remplir avec une bulle d'air voisine de son orifice, on l'immerge dans de la benzine ou du chlorure de carbone, et l'on chauffe au bain-marie : on observe que des bulles de vapeur se dégagent, rapidement et d'une manière continue, à des températures inférieures de plus de 10 degrés au point d'ébullition du liquide sous la même pression.

Avec l'essence de térébenthine, le même phénomène se produit vers 95°. L'explication de ce fait est des plus simples : la bulle d'air de la cloche se trouve entre deux couches d'eau et de liquide qui s'y vaporisent ; si donc la température est telle que la somme des tensions maxima des vapeurs soit plus grande que la pression supportée, la bulle de vapeur se dégagera en partie, laissant sous la cloche une atmosphère dans laquelle le même phénomène se reproduit jusqu'à ce que l'eau retenue dans la cloche soit complétement vaporisée, ce qui demande un temps relativement considérable, surtout lorsque l'eau est en présence de liquides très-volatils.

On se rend compte aussi facilement des particularités décrites par M. Is. Pierre (¹). Ce savant a reconnu que, si l'on chauffe à feu nu sous une couche d'eau divers liquides, tels que les iodures butylique et éthylique, il se détache du liquide inférieur des gouttes, lestées par une bulle gazeuse, qui, traversant la couche d'eau superposée, arrivent à la surface libre, perdent le gaz qui les entraînait et retombent vers la couche inférieure. J'ai constaté que ce phénomène se produit avec tous les liquides plus lourds que l'eau lorsque,

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 4ᵉ série, t. XXVI, p. 169.

contenant des gaz en dissolution, ils sont placés dans des conditions telles que le dégagement des bulles gazeuses soit possible, c'est-à-dire lorsqu'on les chauffe sans avoir éliminé les poussières qu'ils tiennent en suspension. Le gaz dissous ne peut se dégager que sur l'atmosphère gazeuse des poussières qui se trouvent irrégulièrement disséminées ; il forme des bulles qui arrivent à la surface de séparation des deux liquides, s'y gonflent des vapeurs des deux liquides en présence et s'élèvent en entraînant sous forme de goutte une partie du liquide qui les entourait d'abord. Ces gouttes lestées traversent la couche d'eau, arrivent à la surface libre où la vapeur se dégageait, et elles retombent, retenant le plus souvent une très-petite bulle du mélange gazeux qui peut servir à reproduire le phénomène. Rien n'est plus simple, du reste, que d'empêcher la production de ces gouttes liquides : il suffit de filtrer avec soin le liquide inférieur pour en enlever les corps étrangers en suspension, puis d'élever lentement la température, ou mieux encore de faire bouillir ce liquide au préalable pour chasser les gaz dissous, et pour rendre inactives, en les préservant d'air, les poussières en suspension. Si l'on ne prend pas ces dispositions, on produit, à volonté, le phénomène avec les liquides les plus divers, avec le sulfure de carbone, le chlorure de carbone, etc.

Nouvelle lampe électrique à incandescence fonctionnant à l'air libre, par M. Émile Reynier.

Lorsqu'on fait passer un courant intense dans un conducteur résistant et très-réfractaire, tel qu'une mince baguette de carbone, la température de ce conducteur peut s'élever jusqu'au blanc éblouissant : il émet alors une vive lumière. C'est le principe, depuis longtemps connu, des lampes électriques à incandescence.

La principale difficulté que doit résoudre une lampe à incandescence, c'est de parer à l'usure des conducteurs lumineux, usure qui est rapide, même en vase clos, par suite de la volatilisation et

de la désagrégation des baguettes de charbon, et qui s'accélère beaucoup à l'air libre, par la vive combustion du carbone incandescent.

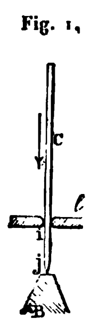
Dans les divers systèmes de lampes à incandescence proposés jusqu'ici, le renouvellement des charbons s'opère de la manière suivante : la baguette incandescente, fixée dans ses contacts, reste en place jusqu'à ce qu'elle soit rompue par usure ; il y a alors extinction ; puis le courant passe subitement de ce charbon dans un autre, qui s'use et se rompt à son tour, et ainsi de suite.

Cette méthode présente beaucoup d'inconvénients : il y a interruption de courant avec extinction de lumière à chaque rupture de baguette ; l'intensité lumineuse varie continuellement pour l'amincissement graduel du charbon ; le conducteur ne fournit son maximum de lumière qu'au moment où il est près de se rompre ; enfin les dispositifs proposés ne peuvent guère fonctionner qu'*en vase clos*.

Dans le nouveau système qui fait l'objet de la présente Communication, le renouvellement du charbon est *progressif*. Le charbon, incandescent sur une partie de sa longueur, avance d'une manière à peu près *continue* jusqu'à usure complète de la partie utilisable. Ce système peut fonctionner à l'air libre. Voici son principe :

Une baguette de charbon cylindrique ou prismatique C (*fig.* 1)

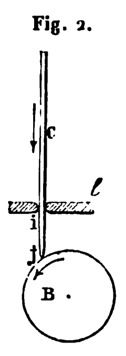
Fig. 1.



est traversée entre *i* et *j* par un courant électrique (continu ou alternatif) assez intense pour la rendre incandescente dans cette portion. Le courant entre ou sort par le contact *l*, il sort ou entre par le contact B. Le contact *l*, qui est élastique, presse la baguette *latéralement* ; le contact B la touche *en bout*. Dans ces conditions,

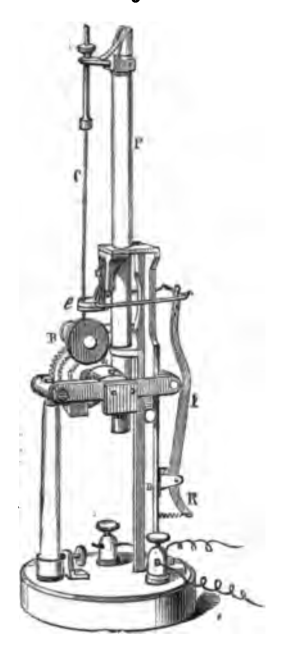
le charbon s'use à son extrémité *j* plus vite qu'en toute autre place, et tend à se raccourcir. Par conséquent, si le charbon C est poussé

Fig. 2.



continuellement dans le sens de la flèche, de manière à buter sans cesse sur le contact en bout B (*fig.* 2), il avancera *graduellement,* à mesure qu'il s'usera, en glissant dans le contact latéral *l.*

Fig. 3.



La chaleur développée par le passage du courant dans la baguette est grandement accrue par la combustion du carbone.

Dans la pratique, je remplace le contact fixe par un contact tournant B (*fig.* 2), qui entraîne les cendres du charbon. La rotation du contact en bout est rendue solidaire du mouvement de progression de la baguette de charbon, de sorte que la pression de celle-ci sur le contact en bout fait frein sur le mécanisme moteur.

Le principe de ce nouveau système de lampes étant établi, il était aisé d'imaginer des dispositifs simples pour le réaliser. Les spécimens que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de la Société s'expliquent d'eux-mêmes à première inspection. La progression du charbon C (*fig.* 3) et la rotation du contact en bout B sont obtenues par la descente de la tige pesante P. Pour remonter la lampe, il suffit de soulever cette colonne. La baguette de charbon est mise en place sans aucun ajustement. Il n'y a point de réglage.

Le point lumineux est fixe dans l'espace, ce qui est utile dans tous les cas, mais surtout dans les expériences d'optique.

Cet appareil donne une lumière nette et blanche avec quatre éléments Bunsen. Avec des sources électriques plus puissantes, on peut illuminer plusieurs lampes de ce système, et obtenir ainsi le *fractionnement de la lumière électrique*.

Nouvel hygromètre à condensation; par M. Alluard.

Cet hygromètre (*fig.* 1) se distingue de tous ceux qui ont été employés jusqu'ici, par les deux points suivants : 1° la partie sur laquelle le dépôt de rosée doit être observé est une face plane A, bien polie, en argent ou en laiton doré ; 2° cette face plane est encadrée dans une lame d'argent ou de laiton B, dorée et polie elle-même, qui ne la touche pas et qui, n'étant jamais refroidie, conserve toujours tout son éclat. Il résulte de cette disposition que le dépôt de rosée s'observe avec la plus grande facilité sur la face A, de telle sorte qu'on ne trouve presque aucune différence entre les températures des instants où la rosée commence et finit de paraître sur l'instrument, convenablement refroidi par l'évaporation de l'éther.

La forme de l'appareil est celle d'un prisme droit à base carrée.

Sa hauteur a 0^{m}, 08, et sa base 0^{m},018 de côté. Trois petits tubes de cuivre CG, DF et E traversent le couvercle supérieur; le premier CG pénètre jusqu'au fond, et les deux autres, DF et E, dont l'un E est surmonté d'un entonnoir servant à introduire de l'éther, débouchent seulement en haut.

Deux petites fenêtres permettent de juger de l'agitation de l'éther par l'aspiration ou le refoulement de l'air destiné à produire le refroidissement en évaporant le liquide volatil. Le mieux est d'o-

Fig. 1.



pérer avec un aspirateur dont on règle l'aspiration suivant les besoins, lorsque les expériences se font à poste fixe; mais, en voyage, il est bien préférable de se servir d'un petit soufflet à souffle continu, qui est d'un transport très-facile et qu'on adapte à l'hygromètre par un tube de caoutchouc fixé en H. Quand on emploie un aspirateur, il faut le faire communiquer avec l'appareil au moyen d'un tube en caoutchouc, fixé en I.

Une tubulure centrale permet l'introduction d'un thermomètre *t* qui, se trouvant placé au milieu du liquide en évaporation, donne la température à laquelle se fait le dépôt de rosée.

Un petit thermomètre fronde t', fixé à côté sur un support en laiton caché presque entièrement sur le dessin par l'hygromètre lui-même AB, permet de déterminer avec précision la température de l'air dont on veut avoir l'état hygrométrique.

L'hygromètre à condensation de Daniell a été modifié autrefois par M. V. Regnault. Cet éminent physicien en a fait un instrument de précision, mais son appareil ne s'est pas répandu à cause de sa manœuvre délicate. Le dépôt de rosée, se produisant sur un cylindre d'argent poli, est difficile à saisir. Dans l'hygromètre à face plane que je présente, ce dépôt se voit très-facilement par contraste, même à quelques mètres de distance, surtout si l'on a le soin de se placer de manière à éviter toute réflexion sur les faces dorées, ce qui les fait paraître d'un beau noir d'ébène. Son emploi étant très-simple, sans rien perdre de sa précision, rien ne s'oppose plus à ce que son usage devienne général.

Depuis que les observations météorologiques se sont multipliées de tous côtés, l'hygromètre a pris une importance qu'il n'avait pas autrefois. Celui qui est presque exclusivement employé aujourd'hui est le psychromètre. Or tous les physiciens savent qu'à la température de zéro et au-dessous on ne peut pas compter sur les résultats qu'il donne ; il en est de même dans un air très-agité. Cependant, presque partout, on continue à s'en servir dans ces conditions-là.

Nous espérons que l'hygromètre à face plane, muni pendant les froids de l'hiver d'un aspirateur plein d'un mélange d'eau et d'alcool ou de glycérine, ou simplement d'un soufflet à souffle continu, pourra donner des résultats précis à tous ceux qui ne craindront pas de consacrer deux ou trois minutes à sa manœuvre. Il pourra, de plus, servir à contrôler, en maintes circonstances, toute installation hygrométrique dans les observatoires météorologiques.

M. Golaz construit cet appareil avec toute l'habileté qu'on lui connaît.

SÉANCE DU 7 JUIN 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 17 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Lefebvre, lieutenant au 95e régiment d'infanterie, à Bourges; M.-C.-D. Libert, professeur de Physique au collége de Chollet; Pellerin, professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

MM. William Thomson et Broch, membres honoraires de la Société, assistent à la séance, et, sur l'invitation de M. le Président, prennent place au bureau.

M. le Secrétaire signale une Lettre de M. le comte Léopold Hugo, sur la régularité géométrique dans l'espace comme base décimale absolue.

M. du Moncel décrit diverses dispositions du microphone de M. Hughes. Une de ces dispositions est due à M. Gaiffe. Une autre permet d'employer le microphone comme thermoscope.

M. Niaudet communique une Lettre de M. Weyher, contenant la description d'un appareil analogue au microphone, et reposant sur le même principe.

M. Dufet expose les premiers résultats de ses recherches sur la relation qui existe entre la composition chimique et les propriétés optiques des mélanges de sels isomorphes. M. Dufet se propose d'étendre ses recherches à la variation de l'angle des axes optiques dans les mélanges des sels isomorphes.

Téléphone de M. Hughes, dit microphone; par M. Th. du Moncel.

Le plus important perfectionnement apporté jusqu'ici au téléphone, et qui est du reste une dérivation du transmetteur télépho-

nique de M. Edison, est bien certainement celui qu'a combiné dernièrement (avril 1878) M. Hughes, l'ingénieux inventeur du télégraphe imprimeur employé sur nos lignes. Cette fois les sons, au lieu d'arriver très-affaiblis à l'oreille, à la station de réception, comme cela a lieu avec les téléphones ordinaires, y sont souvent reproduits avec une amplification notable. De là le nom de *microphone,* que M. Hughes a donné à ce système téléphonique; cependant, nous devons le dire dès à présent, cette amplification n'existe réellement que quand les sons résultent de vibrations transmises mécaniquement par des corps solides à l'appareil transmetteur. Les sons transmis par l'air sont sans doute beaucoup plus accentués qu'avec le système ordinaire, mais ils sont moins intenses que ceux qui leur donnent naissance; en conséquence, on ne peut pas dire, dans ce cas, que le microphone agit par rapport aux sons comme le microscope le fait par rapport aux objets éclairés par la lumière. Il est vrai que par ce système on peut parler de loin dans l'appareil, et j'ai pu transmettre de cette manière une conversation à voix élevée, étant placé à 8^m de l'appareil transmetteur; j'ai pu encore parler à voix basse près de ce dernier et me faire entendre parfaitement dans l'appareil récepteur, et même faire distinguer mes paroles à une distance de $0^m,10$ de l'embouchure du téléphone récepteur, en élevant un peu la voix; mais l'amplification du son n'est réellement bien manifeste que quand il résulte d'une action mécanique transmise au support de l'appareil. Ainsi les pas d'une mouche marchant sur ce support s'entendront parfaitement et vous donneront la sensation du piétinement d'un cheval; le cri même de la mouche, surtout son cri de mort, devient, au dire de M. Hughes, perceptible; le frôlement d'une barbe de plume ou d'une étoffe, qui sera complétement imperceptible à l'audition directe, s'entendra d'une manière marquée dans le téléphone; les battements d'une montre posée sur le support de l'appareil seront répétés d'une manière remarquable, même à $0^m,10$ ou $0^m,15$ de l'appareil, mais sans une notable amplification sur le bruit qu'ils produiraient si la montre était placée contre l'oreille. Une petite boîte à musique placée sur l'appareil donne des sons tellement forts, par suite des trépidations de la boîte, qu'il est impossible de distinguer les sons, et, pour les percevoir, il faut disposer la boîte près de l'appareil sans qu'elle soit en contact avec

aucune de ses parties constituantes. C'est alors par les vibrations de l'air que l'appareil est impressionné, et les sons transmis sont plus faibles que ceux que l'on entend près de la boîte. En revanche, les vibrations déterminées par le balancier d'une pendule mise en communication par une tige métallique avec le support de l'appareil s'entendent admirablement, et l'on peut même les distinguer quand cette liaison est effectuée par l'intermédiaire d'un fil de cuivre ; un courant d'air projeté sur l'appareil donne la sensation d'un écoulement liquide perçu dans le lointain; enfin les trépidations causées par le passage d'une voiture dans la rue se traduisent par des bruits crépitants très-intenses, qui se combinent avec ceux produits par une montre et qui le plus souvent prédominent.

Suivant M. Hughes, l'introduction dans le circuit de son appareil d'une bobine d'induction de $0^{m},06$ seulement de longueur permettrait de faire parler un téléphone Bell (grand modèle) assez haut pour être entendu de tous les points d'une vaste salle et d'une manière plus intelligible et plus forte que sur le phonographe. Il faut seulement adapter au téléphone un cornet acoustique, comme on le fait pour ce dernier instrument. Deux éléments de pile à bichromate de potasse suffiraient pour cela.

Si l'on étudie avec attention les sons produits au moyen de cet appareil, on reconnaît que certaines lettres fournissent des sons beaucoup plus forts que certaines autres, et les lettres qui sous ce rapport exercent les effets prédominants sont A, F, H, I, K, L, M, N, O, P, R, S, W, Y, Z.

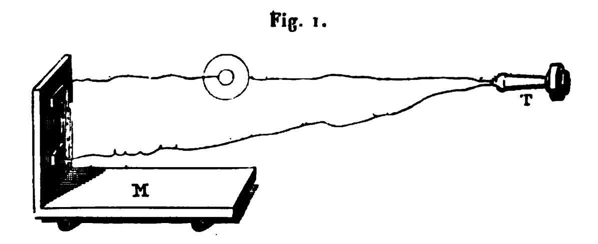
En raison de son extrême sensibilité, cet appareil permet de constater avec la plus grande facilité les sons produits au sein du corps humain, et le Dr Richardson, conjointement avec M. Hughes, s'occupe de l'appliquer au stéthoscope pour l'auscultation des poumons et des battements du cœur. Jusqu'à présent les résultats obtenus n'ont pas été, il est vrai, très-satisfaisants, mais on espère y parvenir. Toutefois la plus importante application de cet instrument à la médecine vient d'être faite par M. Henry Thompson, le célèbre chirurgien anglais, qui, par la nature des sons produits par cet instrument mis en relation métallique avec une sonde, et par le simple contact de cette sonde avec des corps durs, même de dimensions très-petites, est parvenu à reconnaître dans la

vessie la présence de petits fragments de calculs pierreux et à en faciliter l'enlèvement, en précisant exactement les points où ils se trouvaient.

On a pu aussi, par un moyen basé sur le principe du microphone, faire entendre certains sourds dont l'oreille n'était pas complétement insensibilisée, en transmettant les sons à l'oreille par l'os frontal, au moyen d'une planchette vibrante devant laquelle on parlait. Nous verrons plus loin que le microphone, combiné avec une forme, il est vrai, différente, a pu être employé comme appareil thermoscopique, et, chose plus curieuse encore, *il a pu être employé comme récepteur sans aucune intervention électro-magnétique*. Cet appareil constitue donc une découverte importante et originale qui le place dès maintenant en dehors de tous les autres perfectionnements apportés au téléphone.

Le microphone de M. Hughes est fondé sur ce principe que, si un contact électrique est établi entre deux corps médiocrement conducteurs très-légèrement appuyés l'un sur l'autre, les sons qui sont produits dans le voisinage de ce contact peuvent être transmis avec la plus grande facilité par un téléphone ordinaire.

Fig. 1.



Pour obtenir ce résultat, on peut employer plusieurs dispositions; mais celle qui donne les effets les plus intéressants est la suivante : on adapte l'un au-dessus de l'autre, sur une mince planchette verticale de bois de $0^m,06$ de largeur au plus, deux petits prismes de charbon de cornue d'environ $0^m,01$ d'épaisseur et de largeur et de $0^m,018$ de longueur, dans lesquels sont percés deux trous de $0^m,004$ de diamètre qui servent de crapaudines à un crayon de charbon taillé en forme de fusée, c'est-à-dire avec des pointes émoussées par les deux bouts, et de $3^c,5$ de longueur. Ce crayon appuie par une de ses extrémités dans le trou du charbon inférieur et ballotte dans le trou supérieur, qui ne fait que

le maintenir dans une position plus ou moins rapprochée de celle d'équilibre instable, c'est-à-dire de la verticale. En imprégnant ces charbons de mercure par leur immersion à la température rouge dans un bain de mercure, les effets sont meilleurs, mais ils peuvent se produire sans cela. Les deux prismes sont munis de contacts métalliques qui permettent de les mettre en rapport avec le circuit d'un téléphone ordinaire dans lequel est interposée une pile Leclanché d'un ou deux éléments.

Pour faire usage de l'appareil, on place la planche sur laquelle est fixée rectangulairement la planchette servant de support au système sur une table, en ayant soin d'interposer entre celle-ci et la planche plusieurs doubles d'étoffe, disposés de manière à former coussin, ou, ce qui est mieux, une bande de ouate; alors il suffit de parler devant le système pour qu'aussitôt la parole soit reproduite dans le téléphone, et, si l'on place sur la planche-support une montre ou une boîte dans laquelle une mouche ou un insecte est renfermé, tous les mouvements sont, comme je le disais, entendus dans le téléphone. Toutefois, quelques précautions doivent être prises pour arriver à obtenir les meilleurs résultats, et, en outre du coussin qu'on place sous l'appareil pour le soustraire aux vibrations étrangères qui pourraient résulter de mouvements insolites communiqués à la table, il faut régler encore la position du crayon de charbon. Celui-ci doit en effet toujours appuyer en un point du rebord du trou supérieur; mais le contact peut être plus ou moins bon, et l'expérience seule peut indiquer la meilleure position à lui donner: pour la trouver, on peut employer avantageusement le moyen de la montre. Quand on a le téléphone à l'oreille, on place le crayon dans différentes positions, jusqu'à ce qu'on ait trouvé celle donnant le maximum de son. On est souvent obligé d'opérer ce réglage pendant le cours d'une expérience, surtout quand on n'emploie pas de mercure, car les secousses données à la table par les personnes qui l'entourent déplacent très-facilement le point de contact du crayon; mais cet inconvénient disparaîtra quand l'appareil sera plus perfectionné.

On a fait plusieurs modèles de ce genre de microphone, et l'un des meilleurs est celui de M. Gaiffe. Dans cet appareil, le crayon de charbon est remplacé par une plaque très-mince de cette matière, taillée en biseau sur deux de ses côtés et simplement appuyée

contre le charbon supérieur. Pour la soutenir dans une position déterminée, le charbon inférieur est muni d'une rainure dans laquelle s'engage l'un des bouts aiguisés de la plaque. Le charbon supérieur est d'ailleurs adapté dans une garniture de cuivre qui peut se mouvoir le long d'une colonne métallique et qui permet par conséquent de régler facilement l'appareil. Le charbon inférieur, encastré lui-même dans une garniture de cuivre, est fixé sur la planche au-dessous du précédent, et le tout constitue un appareil élégant, qui peut figurer dans les cabinets de Physique.

M. Hughes a combiné son transmetteur d'une manière particulière quand il doit être appliqué aux transmissions téléphoniques. Il lui donne alors le nom de *parleur,* et sa disposition devient un peu plus compliquée. Sous cette nouvelle forme, le charbon mobile appelé à produire les contacts variables est adapté à l'extrémité inférieure d'une lame bascule horizontale, dont l'extrémité supérieure est chargée d'un contre-poids. Un petit ressort à boudin très-flexible tend à produire un contact très-léger entre le charbon mobile et le charbon fixe qui est placé au-dessous de lui, et un autre charbon porté par une bande de papier vient appuyer sur le bout même de la bascule, tout près du charbon mobile, sans doute pour former frein. Ces charbons sont en sapin carbonisé et métallisé par un procédé que nous indiquerons à l'instant, et représentent ceux qui servent de support au charbon vertical dans la première disposition. Ils sont, en conséquence, mis en rapport avec le circuit de la pile et des téléphones, ainsi que le support de la lame bascule.

L'appareil ainsi disposé est recouvert d'une enveloppe hémicylindrique fermée par les deux bouts et fixé dans une boîte placée horizontalement sur une table. Cette boîte est munie, sur un de ses côtés, précisément en face de la partie recourbée de la lame-bascule, d'une ouverture devant laquelle on parle. Dans ces conditions, les vibrations de la voix, réagissant sur la lame-bascule, font varier la pression exercée au contact des charbons d'une manière précise et avec des écarts si grands dans la conductibilité du circuit que la parole se trouve de cette manière plus nettement et plus fortement reproduite dans le téléphone.

Il me reste maintenant à indiquer les expériences intéressantes qui ont conduit M. Hughes à ces résultats si importants.

Considérant que la lumière et la chaleur peuvent modifier la conductibilité électrique des corps, M. Hughes s'est demandé si des vibrations sonores transmises à un conducteur traversé par un courant ne modifieraient pas aussi cette conductibilité en provoquant des tassements et des écarts des molécules conductrices, qui équivaudraient à des raccourcissements ou à des allongements du conducteur ainsi impressionné. Si cette propriété existait réellement, elle devait, suivant lui, permettre de transmettre les sons à distance, car de ces variations de conductibilité devaient résulter des variations proportionnelles de l'intensité d'un courant agissant sur un téléphone. L'expérience qu'il fit sur un fil métallique tendu ne répondit pas toutefois à son attente, et ce n'est que quand le fil s'est rompu et que les deux bouts furent rapprochés l'un de l'autre que les sons se firent entendre. Il devint dès lors manifeste, pour M. Hughes, que les effets qu'il prévoyait ne pouvaient se produire qu'avec un conducteur divisé, et par suite de contacts imparfaits.

Il rechercha alors quel était le degré de pression le plus convenable à exercer entre les deux bouts rapprochés du fil pour obtenir le maximum d'effet, et pour cela il effectua cette pression à l'aide de poids. Il reconnut que, quand elle était légère et qu'elle ne dépassait pas celle de 1 once par pouce carré au point de jonction, les sons étaient reproduits distinctement, mais d'une manière un peu imparfaite; en modifiant les conditions de l'expérience, il put s'assurer bientôt qu'il n'était pas nécessaire, pour obtenir ce résultat, que les fils fussent réunis bout à bout et que, si on les terminait par des clous, ils pouvaient être placés côte à côte sur une planche ou même séparés (mais avec addition d'un troisième clou posé en croix sur eux), pourvu qu'une pression légère et constante pût les réunir métalliquement. Il essaya alors différentes combinaisons de ce genre présentant plusieurs solutions de continuité, et une chaîne d'acier lui fournit d'assez bons résultats; mais les légères inflexions, c'est-à-dire le timbre de la voix, manquaient, et il dut chercher d'autres dispositions. Il essaya d'abord d'introduire des poudres métalliques aux points de contact; la poudre de zinc et d'étain, connue dans le commerce sous le nom de *bronze blanc*, améliora beaucoup les effets obtenus; mais ils n'étaient pas stables, à cause de l'oxydation des contacts, et c'est

en essayant de résoudre cette difficulté, ainsi qu'en cherchant la disposition la plus simple pour obtenir une pression légère et constante sur ces contacts, que M. Hughes fut conduit à la disposition des charbons mercurisés décrite en premier lieu ([1]), laquelle donna les effets maxima.

Dans ces conditions, le crayon appelé à fournir les contacts est dans une position tellement voisine de celle de l'équilibre instable, que les moindres vibrations peuvent l'influencer et faire varier la pression très-légère qu'il exerce à l'état normal sur le bord du charbon supérieur contre lequel il est posé. Il en résulte alors un effet analogue à celui produit dans le système Edison, mais avec cette différence que les variations de résistance qui résultent des vibrations sont infiniment plus accentuées que les différences d'amplitude de ces vibrations elles-mêmes, et c'est ce qui produit précisément l'accroissement d'énergie des sons reproduits. L'importance de l'effet obtenu dépend aussi, d'après M. Hughes, du nombre et de la perfection des contacts, et c'est sans doute pour cela que certaines positions du crayon, dans l'appareil qui a été décrit plus haut, sont plus favorables que d'autres. Pour concilier les résultats de ses expériences avec les idées qu'il s'était faites, M. Hughes dit que, dans les conducteurs homogènes, de dimensions fixes, les effets produits aux deux inflexions inverses de la vibration, étant de sens contraire et égaux, doivent se compenser; mais que, si le conducteur présente en l'un de ses points une conductibilité imparfaite, cette compensation

---

([1]) Voici ce que dit M. Hughes relativement à cette disposition : « Le charbon, en raison de son inoxydabilité, est un corps précieux pour ce genre d'applications; en y alliant le mercure, les effets sont beaucoup meilleurs. Je prends pour cela le charbon employé par les artistes pour leurs dessins; je le chauffe graduellement au blanc et, le plongeant ensuite tout d'un coup dans le mercure, ce métal s'introduit instantanément en globules dans les pores du charbon et le métallise pour ainsi dire. J'ai essayé aussi du charbon recouvert d'un dépôt de platine ou imprégné de chlorure de platine, mais je n'ai pas obtenu un effet supérieur à celui que j'obtenais par le moyen précédent. Le sapin, chauffé à blanc dans un tube de fer contenant de l'étain et du zinc ou tout autre métal s'évaporant facilement, se trouve également métallisé, et il est dans de bonnes conditions si le métal est à l'état de grande division dans les pores de ce corps, ou s'il n'entre pas en combinaison avec lui. Le fer introduit de cette manière dans le charbon est un des métaux qui m'ont donné les meilleurs effets. Le charbon de sapin, quoique mauvais conducteur, acquiert de cette manière un grand pouvoir conducteur. »

n'existera plus, et les vibrations sonores pourront déterminer les variations alternatives de conductibilité dont il a été parlé.

Le charbon n'est pas la seule substance qu'on peut employer à composer l'organe sensible de ce système de transmetteur; M. Hughes a essayé d'autres substances et même des corps très-conducteurs, tels que les métaux : le fer lui a donné d'assez bons résultats, et l'effet produit par des surfaces de platine dans un grand état de division a été égal, sinon supérieur, au charbon mercurisé. Toutefois, comme avec ce métal on rencontre alors plus de difficultés dans la construction des appareils, il donne la préférence au charbon qui, comme lui, jouit de l'avantage de l'inoxydabilité.

Pour obtenir que le téléphone se fasse entendre dans toute une salle par ce système, il faut disposer les appareils d'une certaine manière. Voici ce que m'écrit M. Hughes à ce sujet : « Lors des expériences que j'ai faites le 23 mai dernier à la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres, j'ai parlé d'une chambre séparée de la salle par plusieurs étages dans un téléphone Bell, dont l'aimant était à deux pôles et du modèle appelé par lui son *box téléphone*. Je l'avais muni d'un cornet de 3 pieds de longueur, et le transmetteur était constitué par deux de mes parleurs, adaptés dans une petite boîte de $0^m,05$ de largeur sur $0^m,08$ de longueur, et reliés ensemble en quantité. Le générateur électrique se composait de deux éléments à bichromate de potasse, et la bobine d'induction avait $0^m,08$ de longueur sur $0^m,05$ de diamètre. Elle avait été construite tout exprès pour ces expériences. Toutes les personnes qui se trouvaient dans la salle ont entendu très-distinctement non-seulement les chansons, mais encore la parole et les différentes lettres de l'alphabet prononcées isolément. Une petite horloge à réveil placée sur une planche de $0^m,2$ d'épaisseur a fait entendre ses battements à tout l'auditoire, et ces battements retentissaient comme des coups de marteau sur une enclume. »

M. Hughes ajoute qu'avec la pile seule on peut faire fonctionner le microphone sur un circuit de 10 000 ohms de résistance, mais qu'avec la bobine d'induction on peut correspondre à toute distance.

Nous avons dit en commençant que le microphone pouvait être employé comme thermoscope; mais il doit avoir alors une dispo-

sition particulière, et cette disposition n'empêche pas qu'il soit employé comme transmetteur téléphonique. Il se compose alors d'un tube à parois minces, un tuyau de plume par exemple, que l'on remplit avec cinq ou six fragments cylindriques de charbon, reliés par une poudre semi-conductrice. Les deux fragments qui occupent les deux bouts du tube doivent le dépasser quelque peu, et, en les attachant à un fil métallique très-fin, on en fait deux sortes d'électrodes qui peuvent transmettre un courant à travers ce système de contacts multiples. Or la chaleur, en réagissant sur la conductibilité de ces contacts, peut faire varier dans de si grandes proportions la résistance du circuit, qu'il suffit d'approcher la main du tube pour annuler le courant de trois éléments Daniell. Il suffit en conséquence, pour apprécier l'intensité des différentes sources de chaleur que l'on expose devant l'appareil, d'introduire dans le circuit des deux électrodes dont nous venons de parler une pile de deux ou trois éléments Daniell et un galvanomètre sensible. Quand la déviation diminue, c'est que la source calorifique est supérieure à la température ambiante; quand elle augmente, c'est qu'elle est inférieure: « Les effets résultant de l'intervention du soleil et de l'ombre se traduisent sur cet appareil, dit M. Hughes, par des variations considérables dans les déviations du galvanomètre. Il est même impossible de le tenir en repos, tant il est sensible aux moindres variations de la température. »

J'ai répété avec un seul élément Leclanché et un galvanomètre de 120 tours les expériences de M. Hughes, et j'ai employé pour cela un tuyau de plume rempli de fragments de charbon provenant d'un des charbons cylindriques de petit diamètre que fabrique M. Carré pour la lumière électrique. J'ai bien obtenu les résultats qu'il indique, mais je dois dire que l'expérience est assez délicate. En effet, quand les fragments de charbon sont trop serrés les uns contre les autres, le courant passe avec trop de force pour que les effets calorifiques puissent faire varier la dérivation galvanométrique; quand ils sont trop peu serrés, le courant ne passe pas; il est donc un degré moyen de serrage qui doit être obtenu pour que les expériences réussissent. On observe alors que, quand on approche la main du tube, la déviation, qui était de 90°, diminue au bout de quelques secondes et semble être en rapport avec le rapproche-

ment plus ou moins grand de la main. Mais c'est l'haleine qui produit les effets les plus marqués, et je ne serais pas éloigné de croire que les déviations plus ou moins grandes que provoquent les émissions des sons articulés quand on prononce séparément les différentes lettres de l'alphabet proviendraient d'une émission plus ou moins grande et plus ou moins directe des gaz échauffés sortant de la poitrine. Ce qui est certain, c'est que ce sont les lettres qui provoquent les sons les plus accentués qui déterminent les plus fortes déviations de l'aiguille galvanométrique.

Depuis la présentation que nous avons faite du microphone à la Société de Physique, bien des expériences nouvelles ont été combinées, et il nous aurait fallu recommencer notre article pour les présenter toutes dans l'ordre qui conviendrait à leur exposition logique. Nous renverrons donc le lecteur qui s'intéressera à cette question à l'ouvrage que nous publions en ce moment sur le téléphone et le phonographe. Nous croyons toutefois devoir dire encore quelques mots des nouvelles expériences de M. Hughes qui constatent ce fait incroyable au premier abord, que deux microphones mis en relation peuvent, dans certaines conditions, transmettre et reproduire la parole. Déjà M. Blyth avait publié dans le *Telegraphic Journal* du 15 juin un fait de ce genre, et M. H. Robert Courtenay l'avait également constaté; mais, les expériences qui ont été indiquées ayant été répétées sans succès, on n'y avait prêté qu'une médiocre attention ; celles de M. Hughes étant plus précises et mieux définies, chacun pourra s'en faire une idée nette en les répétant.

Pour obtenir les meilleurs résultats, M. Hughes a recours au microphone parleur que nous avons déjà décrit, mais en le disposant verticalement et en adaptant le charbon fixe à une membrane de parchemin tendue devant un trou fait dans le plancher en face des charbons et en adaptant devant cette membrane, du côté opposé à ces charbons, une sorte d'entonnoir cylindrique servant d'embouchure. En parlant devant cette espèce de téléphone à ficelle, on met tout le système des charbons en vibration et l'on transmet à travers le microphone en correspondance, qui est exactement le même que celui que nous venons de décrire, une série de courants de diverses intensités qui, en réagissant sur les charbons eux-mêmes, déterminent à leurs points de contact des vibrations. Ces

vibrations, communiquées à la membrane de parchemin, reproduisent la parole moins fortement, il est vrai, que dans un téléphone Bell, mais assez distinctement pour qu'on puisse la comprendre. Cet effet peut même être obtenu avec les microphones ordinaires quand on applique l'oreille contre la planche qui sert de support aux charbons et en plaçant bien verticalement le charbon mobile. Dans ces conditions, cependant, on ne peut guère percevoir que les bruits de la montre.

M. Hughes donne une théorie de ces différents effets, mais elle ne nous paraît pas assez sérieusement étudiée pour que nous en parlions ici; il nous suffit de signaler le fait, qui est déjà assez curieux par lui-même pour nous dispenser en ce moment de tout commentaire.

Sur la variation des indices de réfraction dans des mélanges de sels isomorphes; par M. H. Dufet.

Les sels isomorphes présentent, comme on sait, des propriétés optiques analogues; dans les cristaux appartenant aux systèmes à deux axes optiques, le sens de la double réfraction est en général le même, et les indices principaux, rangés par ordre de grandeur, correspondent aux mêmes axes cristallographiques. Des recherches sur ce sujet ont été faites d'abord par de Senarmont; ayant vu dans certains cristaux isomorphes la double réfraction changer de signe, il en conclut qu'il n'y avait pas d'analogie entre la forme cristalline et les propriétés optiques : des conclusions différentes ressortiraient d'un Mémoire de MM. Haldor Topsoë et Christiansen, publié en janvier 1874 dans les *Annales de Chimie et de Physique*. Ces savants ont déterminé, dans de nombreux sels, les valeurs des indices principaux, et ont montré qu'il y avait réellement analogie, mais que, dans certains cas, la différence entre les indices est énorme par rapport à celle des paramètres cristallographiques.

Si, au lieu d'étudier les sels isomorphes à l'état pur, on étudie les propriétés optiques de mélanges dont on connaisse la composition chimique, on voit dans ces propriétés une continuité re-

marquable. J'ai étudié ainsi des mélanges de sulfates de la série magnésienne, et voici quels sont les résultats auxquels je suis arrivé jusqu'à présent, pour des mélanges de sulfates de nickel et de magnésie, à 7 équivalents d'eau.

Ces sulfates cristallisent, comme tous ceux de cette série, en prismes orthorhombiques, voisins de 91°; l'angle est égal à 91°10′ pour le nickel et à 90°38′ pour la magnésie. La bisseetrice de l'angle aigu des axes optiques coïncide avec la bissectrice de l'angle aigu du prisme. Il est facile d'obtenir par clivage des faces normales à cette bissectrice et de tailler des prismes ayant leur arête réfringente parallèle aux arêtes du cristal, donnant l'indice moyen par la déviation de l'image ordinaire.

Lorsqu'on fait cristalliser un mélange de ces sulfates, les cristaux sont très-purs, et présentent tous la même composition chimique et les mêmes propriétés optiques. J'ai étudié cinq de ces mélanges, dont la composition a ensuite été déterminée. On trouvera plus loin les compositions centésimales et les indices moyens pour la raie D du sodium. L'indice croît régulièrement à mesure que la proportion de nickel augmente.

J'ai refait, pour les sels purs, sulfate de nickel et sulfate de magnésie, les déterminations complètes des trois indices principaux. Les observations sur le sulfate de magnésie m'ont donné très-sensiblement les mêmes nombres qu'à MM. Topsoë et Christiansen; mais, pour le nickel, j'ai constamment trouvé des nombres un peu plus élevés; les valeurs moyennes des observations sur ce sel sont

$$\gamma = 1,4923, \quad \beta = 1,4893, \quad \alpha = 1,4693$$

au lieu de

$$\gamma = 1,4921, \quad \beta = 1,4888, \quad \alpha = 1,4669. \text{ (Topsoë et Christiansen.)}$$

De même, l'angle des axes optiques est un peu plus petit, 41°54′ au lieu de 41°56′. Ce sont là, dans tous les cas, des différences bien faibles et qui tiennent, je pense, à ce que le sel étudié par MM. Topsoë et Christiansen contenait quelques centièmes de sels isomorphes. Le sulfate de nickel est, en effet, de tous les sels de la série magnésienne, celui qui a les indices les plus élevés et le plus petit angle des axes.

En cherchant pour chacun des sels précédents, non plus la com-

position centésimale, mais la composition en équivalents, on arrive à la loi expérimentale suivante :

Les différences entre les indices d'un mélange de deux sels isomorphes et ceux des sels composants sont en raison inverse des nombres d'équivalents des deux sels qui entrent dans le mélange.

En d'autres termes, la courbe qui a pour ordonnées les indices et pour abscisses les équivalents est une droite; j'appelle *équivalent* du mélange la quantité contenant un équivalent de $SO^4, 7HO$, soit 111.

Je donne, dans le tableau suivant, les compositions centésimales et les équivalents des sels étudiés, leurs indices mesurés et calculés par la loi précédente, ainsi que les différences entre l'observation et le calcul :

Sels.	Proportion pour 100 de		Équivalents.	Indice moyen pour la raie D.		Différences.
	$MgO,SO^3,7HO$	$NiO,SO^3,7HO$		Mesuré.	Calculé.	
$MgO,SO^3,7HO$.	100	0	123	1,4554	»	»
Mélange 1.....	71,65	28,35	127,51	1,4645	1,4641	+ 0,0004
» 2.....	59,3	40,7	129,58	1,4675	1,4681	— 0,0006
» 3.....	46,1	53,9	131,87	1,472	1,4725	— 0,0005
» 4.....	28,05	71,95	135,12	1,479	1,4788	+ 0,0002
» 5.....	20,9	79,1	136,47	1,483	1,4815	+ 0,0015
$NiO,SO^3,7HO$.	0	100	140,54	1,4893	»	»

L'analyse du n° 5 aurait eu besoin d'être reprise, mais je n'avais plus de sel à ma disposition.

Cette loi de la variation de l'indice peut être regardée comme une conséquence de la loi de Gladstone sur la constance de l'*énergie réfractive* spécifique dans les mélanges. L'énergie réfractive $\frac{n-1}{D}$ du mélange de deux corps, n'ayant pas l'un sur l'autre d'action chimique, est la somme des énergies réfractives des composants.

Mais il faut remarquer que, pour les sels isomorphes d'une même série, la densité est proportionnelle à l'équivalent. Il suit de là que, si l'on mélange p équivalents d'un corps d'indice n et d'équivalent e, et p' équivalents d'un corps d'indice n' et d'équivalent e',

c'est-à-dire des poids égaux à pe et $p'e'$, on pourra écrire

$$pe\left(\frac{n-1}{d}\right)+p'e'\left(\frac{n'-1}{d'}\right)=(pe+p'e')\left(\frac{N-1}{D}\right);$$

et, comme la densité D du mélange est égale à $\dfrac{pe+p'e'}{\dfrac{pe}{d}+\dfrac{p'e'}{d'}}$, on a, en remarquant que $\dfrac{e}{d}=\dfrac{e'}{d'}$,

$$p(n-1)+p'(n'-1)=(p+p')(N-1),\quad N=\frac{pn+p'n'}{p+p'}.$$

Les sels isomorphes, en cristallisant ensemble, forment donc des mélanges analogues, jusqu'à un certain point, à des mélanges liquides, dont les propriétés physiques sont les moyennes des propriétés des corps composants.

Cela ne doit d'ailleurs être regardé que comme approximatif; la distance des molécules variant avec la direction dans les cristaux biréfringents, le mot *densité* n'a plus de sens précis quand on l'applique à une seule direction. Mais, dans tous les cas, l'approximation est comparable à celle des formes cristallines elles-mêmes.

J'ai mesuré également dans ces cristaux l'angle des axes optiques, qui peut aussi se calculer par la règle indiquée précédemment; mais ici les petites différences entre les indices vrais et les indices calculés influent sensiblement sur la valeur de l'angle : je pense, avec des observations plus précises que j'ai commencées sur des mélanges de sulfates de zinc et de magnésie, arriver à établir la loi de ces perturbations, et rattacher d'une façon plus complète les propriétés optiques des sels isomorphes à leurs formes cristallines.

Recherches sur la réalisation des systèmes de Plateau; par M. A. Terquem.

(Séance du 15 avril 1878.)

Tous les physiciens connaissent les remarquables travaux de M. Plateau, de Gand, sur l'équilibre des liquides dénués de pesan-

teur. Avec une sagacité extraordinaire, ce physicien a réalisé et étudié les surfaces qui limitent ces liquides, en mettant en suspension l'un dans l'autre des liquides de même densité (de l'huile et de l'alcool étendu d'eau). Plus tard, il parvint à réaliser ces mêmes surfaces avec de l'eau de savon, l'action de la pesanteur sur la masse liquide comprise entre les deux surfaces qui la limitent étant négligeable par rapport aux actions moléculaires.

En outre, avec le même liquide, il put étudier plus complétement les lois auxquelles sont soumises les intersections des lames multiples qui prennent naissance dans l'intérieur des polyèdres dont les arêtes sont formées par des tiges rigides.

Comme les lames obtenues avec de l'eau de savon durent très-peu de temps, à cause de l'écoulement du liquide sous l'influence de la pesanteur, M. Plateau employa un liquide formé par un mélange, en certaines proportions, d'eau de savon, ou mieux d'oléate de soude et de glycérine, liquide auquel il donna le nom de *liquide glycérique*. J'ai déjà indiqué, il y a quelques années, dans le *Journal de Physique* (t. II, p. 409), que l'on pouvait remplacer la glycérine par du sucre. Je donnerai plus loin le procédé que j'emploie pour la préparation de ce liquide.

Quand on veut réaliser des systèmes laminaires d'une certaine étendue, il faut employer une grande quantité de liquide, de 1^{lit} à 2^{lit}, afin de pouvoir plonger et retirer facilement les polyèdres sans toucher les parois du vase. Je suis parvenu à réaliser des systèmes laminaires de dimensions beaucoup plus grandes qu'on n'avait pu le faire jusqu'à présent, tout en employant des quantités beaucoup moindres de liquide, et cela, en remplaçant, dans les solides de Plateau, un certain nombre des arêtes rigides par des fils flexibles, de telle sorte que les polyèdres les plus simples, qu'on emploie ordinairement dans ces expériences, puissent se réduire, quand on les plonge dans le liquide employé, à des polygones plans superposés, par suite du reploiement des arêtes flexibles.

J'ai réalisé, par ce procédé, les expériences suivantes :

1° *Lame liquide soumise à une tension variable.* — Le système employé consiste en deux tiges rigides horizontales (longueur, $0^m,15$; épaisseur, $0^m,004$), réunies par deux fils de soie de $0^m,33$. En plongeant dans l'eau de savon et retirant lentement, les deux fils flexibles, accolés d'abord, s'écartent peu à peu, et l'on obtient

une lame de savon limitée en haut et en bas par deux lignes droites, et latéralement par des arcs de cercle.

Si l'on suspend des poids à un crochet que porte la tige horizontale inférieure, on voit la lame s'allonger, en même temps que le rayon de courbure des arcs latéraux augmente.

2° *Fil flexible placé dans une lame liquide.* — L'appareil employé est presque identique au précédent, si ce n'est que les deux fils latéraux sont reliés en outre par un fil flexible FGH, non tendu. On forme la lame liquide comme précédemment, et l'on suspend le système à une potence.

On prend en main le fil HI (*fig.* 1) qu'on relève verticalement,

Fig. 1.

et si l'on détruit la lame qui existe entre le fil FGH et la tige CD, en la traversant avec un petit morceau de papier buvard, on voit le fil FGH se relever brusquement, et prendre la forme d'un arc de cercle. On peut, à l'aide du fil HI, déformer cet arc ainsi que la lame AFHGB; dès que l'on cesse d'exercer une traction sur le fil HI, l'équilibre primitif se rétablit.

Cette expérience permet de mettre facilement en évidence la tension superficielle des liquides.

3° *Intersection des lames planes* ([1]). — Pour étudier les lois relatives aux intersections des lames planes parallèles à une même droite, j'ai pris deux anneaux en fil de laiton (diamètre, $0^m,13$) que

(1) Voir Plateau, *Statique des liquides*, t. I, p. 349, 355 et suiv.

j'ai réunis par des fils verticaux parallèles et égaux (longueur, $0^m,33$), au nombre de 3, 4, 5, ...

Tout le système étant plongé dans le liquide, quand on soulève l'anneau supérieur, tous les fils verticaux sont d'abord accolés les uns aux autres vers le bas; à la partie supérieure, ils sont réunis par une lame liquide ayant la forme d'un caténoïde; puis ils se séparent peu à peu, à mesure qu'ils sont tendus; les lames supplémentaires prennent naissance, quand il y a plus de trois fils, et se développent peu à peu; enfin il se forme, dans l'anneau inférieur, quand on le retire, les mêmes lames que celles qui ont pris naissance antérieurement dans l'anneau supérieur.

4° *Lames du tétraèdre.* — Le tétraèdre est réalisé à l'aide d'un triangle équilatéral en fil de laiton (côté, $0^m,14$), aux sommets duquel sont fixés ou noués trois fils de soie de même longueur, attachés ensuite ensemble, et passant dans un anneau qui termine une petite tige servant à soutenir tout le système.

On peut ainsi réaliser les expériences décrites par M. Plateau (¹).

5° *Lames du cube.* — Pour faire un cube, j'ai pris deux carrés faits avec le même fil de laiton (côté, $0^m,14$), et j'ai réuni les huit sommets deux à deux par des fils de soie, de même longueur que les côtés des carrés. Au carré supérieur, comme dans les systèmes rigides de Plateau, est soudé un étrier qui sert à soutenir le cube et à le suspendre. On peut, avec ce système, réaliser les expériences décrites dans Plateau (p. 318 et 361); en outre, en enlevant un certain nombre de lames liquides, on réalise diverses de ces surfaces, caractérisées par cette condition, que la somme des inverses des rayons de courbure est nulle. Avec le cube, on en obtient trois : 1° une sorte de double selle; 2° trois surfaces hélicoïdales se coupant suivant une diagonale; 3° une surface courbe passant par deux sommets opposés.

6° *Lames de l'octaèdre.* — J'ai réalisé un octaèdre en prenant un carré de même dimension que pour le cube, attachant aux sommets quatre fils flexibles égaux aux côtés du carré, réunis de la même manière que pour le tétraèdre, c'est-à-dire fixés au crochet terminal d'une petite tige; quatre autres fils identiques sont noués également aux sommets et tendus vers le bas par une balle

(¹) *Statique des liquides*, t. I, p. 321.

de plomb. En plongeant l'octaèdre dans le liquide et le retirant lentement, on obtient les lames figurées dans Plateau (p. 321).

On peut introduire un polyèdre formé par des surfaces courbes dans l'intérieur de l'octaèdre primitif muni de ses lames, en y plaçant une bulle de savon préparée au bout d'une pipe. On réussit mieux de la manière suivante : après avoir plongé tout le système dans le liquide, on retire seulement les quatre fils supérieurs, puis on souffle entre eux une demi-bulle, reposant sur la surface du liquide et tangente aux quatre fils. On soulève lentement; le polyèdre prend naissance dans l'intérieur de l'octaèdre; c'est une sorte d'octaèdre dont les sommets sont remplacés par quatre lignes reliées aux sommets de l'octaèdre extérieur par des triangles. Si, cela fait, on dépose, avec une pipe, six petites bulles aux sommets respectifs de l'octaèdre, on obtient intérieurement un cubo-octaèdre, semblable à l'alun octaédrique, à faces légèrement courbes, relié à l'octaèdre extérieur par des lames et des pyramides quadrangulaires.

Cette expérience est l'une des plus belles qu'on puisse réaliser d'après la méthode de Plateau.

Préparation du liquide. — Le liquide que j'emploie est formé d'une dissolution de savon et de sucre. Les proportions de ces deux corps peuvent varier entre des limites très-étendues, et l'on obtient sensiblement les mêmes résultats.

Je prends habituellement pour 1^{lit} d'eau distillée 15^{gr} de savon de Marseille parfaitement desséché et mis en poudre pour en faciliter la dissolution. Cette poudre est très-hygrométrique et doit être conservée dans un flacon bien bouché. On fait dissoudre le savon à chaud, puis on laisse refroidir et reposer la dissolution au moins vingt-quatre heures, autant que possible à une température assez basse, vers 10° par exemple. On la verse ensuite sur un grand filtre, et l'on recommence la filtration sur le même filtre, jusqu'à ce que le liquide passe complétement clair et limpide, à peine légèrement opalescent. Souvent ce dernier se trouble de nouveau au bout de quelques jours; on le fait alors repasser sur le même filtre. Primitivement, je faisais une dissolution concentrée, que je filtrais et que j'étendais ensuite d'eau : ce procédé n'est pas bon, parce que, si l'on étend une dissolution de savon, elle se trouble au bout d'un certain temps, à cause de l'action décompo-

sante de l'eau sur le stéarate et le margarate de soude, et il faut refiltrer. Dans la dissolution claire de savon ainsi obtenue, j'ajoute environ 30^{gr} de sucre pour 100^{cc} d'eau de savon. S'il y a trop peu de sucre, le liquide s'écoule trop rapidement, et les lames sont de peu de durée ; si l'on en met trop, le liquide devient trop visqueux, et des lames liquides un peu grandes se forment difficilement et lentement.

Le liquide, quelle que soit sa constitution, ne se conserve pas longtemps, surtout en été ; ses propriétés se détruisent d'autant plus vite qu'on l'a employé plus fréquemment et, par suite, mis plus souvent au contact de l'air. Pour le conserver, on le porte à l'ébullition pendant qu'on fait dissoudre le sucre ; on le met ensuite, encore chaud, dans des flacons suffisamment solides, bien bouchés et ficelés, que l'on chauffe encore au bain-marie (¹). De la sorte, tous les germes de fermentation sont détruits, et le liquide peut être conservé probablement indéfiniment, sans perdre ses propriétés. J'ai constaté, du moins, qu'un liquide, préparé au mois de mai et conservé par ce procédé, essayé au mois de juillet, avait les mêmes qualités qu'au moment de sa préparation ; d'autres liquides de même composition étaient devenus au contraire mauvais au bout de vingt-quatre heures, après avoir servi une seule fois, quand la température extérieure était très-élevée.

Comme le savon attaque assez énergiquement le cuivre, le zinc et le fer, et non l'étain ni l'argent, il est bon de verser le liquide dans des cuvettes de verre, de porcelaine ou de fer-blanc, et, de même, d'étamer ou d'argenter les fils de laiton qui forment les arêtes solides des polyèdres employés.

SÉANCE DU 21 JUIN 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 juin est lu et adopté.

(¹) Les flacons plats se brisent généralement pendant cette opération ; on peut, pour éviter cet accident, fermer les flacons avec un bouchon de caoutchouc percé, et introduire une tige de verre dans ce bouchon, quand le liquide du bain-marie a été porté à l'ébullition pendant dix minutes environ.

Sont élus membres de la Société : MM. Calemard du Genestoux, lieutenant-colonel d'artillerie, à Paris; Combette, professeur au lycée Saint-Louis; Le Gavrian (Paul), ingénieur, à Lille; Paillard-Ducléré (Constant), secrétaire d'ambassade, à Paris; Roger de Blonay, à Paris; Schwedoff, professeur de Physique à Odessa (Russie).

M. Trouvé fait fonctionner deux modèles d'un appareil électro-médical, permettant de régler à volonté la fréquence des émissions du courant induit.

M. Marcel Deprez expose les recherches qu'il a faites pour obtenir à distance des diagrammes représentatifs du travail de la vapeur, dans le cas où la vitesse du piston est trop grande pour que l'indicateur de Watt puisse être utilement employé.

M. Marié-Davy décrit divers appareils inscripteurs qu'il a fait installer à l'Observatoire de Montsouris, et présente à la Société des spécimens des courbes fournies par ces appareils. Tous les styles inscripteurs sont de même largeur, de telle sorte que l'étude microscopique peut se faire sur un même appareil.

M. Javal présente des feuilles de gélatine fuschinée préparées dans le but de corriger le daltonisme, en se fondant sur les faits récemment découverts par M. Delbœuf.

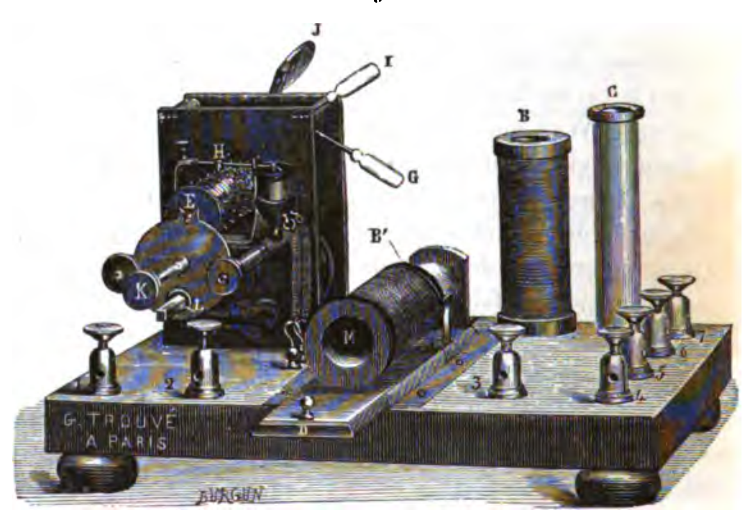
Nouveaux appareils électro-médicaux portatifs, à régulateur des intermittences; par M. Trouvé.

Les deux interrupteurs de courant que je présente à la Société de Physique remplissent le même but, quoique basés sur des principes différents. Le premier, par sa grande précision, est destiné plus particulièrement aux études physiologiques, car il donne à chaque seconde de temps le nombre d'intermittences à $\frac{1}{100}$ de seconde près. Le second, bien que ne pouvant rivaliser de précision avec le précédent, les donne à $\frac{1}{15}$ de seconde; il est plus que suffisant pour la pratique médicale, et répond à un *desideratum* souvent formulé.

On sait quelle importance il y aurait en faradisation à pouvoir

régler à volonté le nombre des intermittences. Jusqu'à présent, dans la pratique médicale ordinaire, on s'était contenté d'appareils munis du trembleur de Neef, avec lequel on peut faire varier le nombre des intermittences entre des limites plus ou moins étendues, mais sans jamais en connaître le nombre. Disons, toutefois, que les physiologistes, comme Duchesne, de Boulogne, avaient cependant entrevu la nécessité de contrôler le nombre des intermittences ou le nombre des passages successifs du courant


Fig. 1.



par chaque seconde de temps. Duchesne, de Boulogne, à cet effet, avait fait disposer une pendule dont le balancier, marquant la demi-seconde, lui donnait à volonté une interruption ou deux par seconde. On utilisa également, dans le même but, le métronome et même la roue de Masson; mais, comme on le voit, ces divers systèmes interrupteurs avaient pour principaux inconvénients d'avoir un champ de variations trop restreint, d'être d'un prix élevé et de n'être pas transportables.

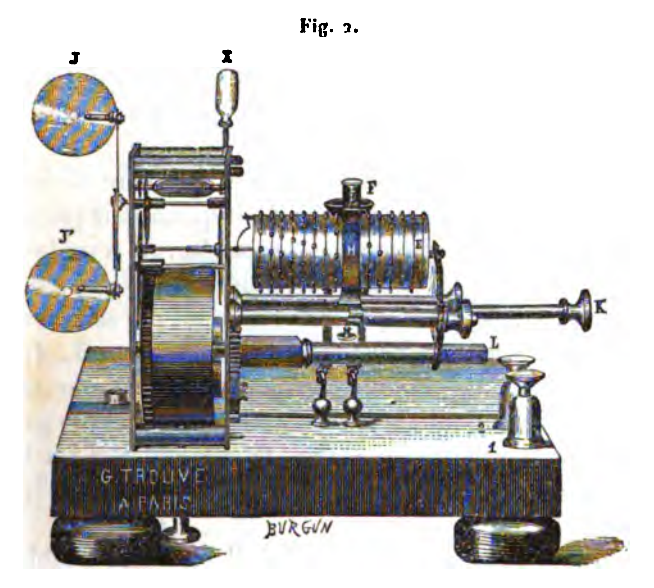
M. le Dr Onimus, pour juger de l'influence des intermittences lentes ou rapides sur les mouvements du cœur et sur la contractilité musculaire, dans certains cas de paralysie, s'adressa à moi, et voici l'appareil portatif que nous avons réalisé.

I. *Appareil Trouvé-Onimus.* — Cet appareil d'induction à cha-

riot (*fig.* 1) [1] est constitué par une bobine inductrice indépendante des bobines induites, d'une pile hermétique Trouvé, à renversement, des différents accessoires en usage en électrothérapie, et d'un interrupteur spécial qui constitue la partie principale de l'appareil et fait l'objet de cette Communication.

Cet interrupteur (*fig.* 2) se compose d'un cylindre divisé, dans

Fig. 2.



le sens de sa longueur, en vingt parties. Chaque partie est munie, suivant la circonférence du cylindre, d'un certain nombre de touches ou chevilles, dont le nombre croît suivant une progres-

[1] M, bobine inductrice et C son tube graduateur.
BB', bobines induites, se plaçant à volonté sur le chariot.
D, cylindre muni de touches ou chevilles, mû par un mouvement d'horlogerie.
FH (*fig.* 2), interrupteur à mercure.
K, bouton pour déplacer le stylet.
JJ' (*fig.* 1 et 2), ailettes du volant à résistances variables.
IG, même levier en positions différentes; I est pour la mise en mouvement du cylindre et G pour l'arrêt instantané.
1 et 2, serre-fils pour recevoir les rhéophores d'une pile à courant continu.
3 et 4, serre-fils de la pile à produire les courants induits.
On recueille ces derniers en plaçant les cordons des électrodes en 5 et 6; pour l'extra-courant, en 6 et 7, on recueille les induits; en 5 et 7, l'extra-courant et les induits réunis.

sion arithmétique, c'est-à-dire qu'à la première division il y a 1 touche ou cheville, à la deuxième 2, à la troisième 3, à la vingtième 20.

Le cylindre est mû par un mouvement d'horlogerie dont la vitesse se règle au moyen d'un régulateur ou volant, à vitesse variable, ce qui permet de donner au cylindre le nombre de tours que l'on désire par seconde. Un stylet se meut à volonté parallèlement à l'axe du cylindre, et peut être mis successivement en contact avec les différents nombres de touches, ce qui a pour but d'interrompre le courant autant de fois qu'il y a de touches à la position qu'il occupe.

Supposons que le stylet se trouve à la première division où il n'y a qu'une touche : si le cylindre ne fait qu'un tour par seconde, le courant sera interrompu toutes les secondes, et, si on lui fait occuper successivement toutes les positions jusqu'à la vingtième, on aura 2, 3, 4, ..., 20 interruptions du courant par seconde.

Donnant donc au cylindre une vitesse de 1, 2, 3, 4, 5, ... tours par seconde, chaque touche sera multipliée par ce même nombre de tours, et l'on obtiendra, avec la plus grande précision, depuis 1 interruption jusqu'à 100, en passant par les intermédiaires, et l'on aura, dans un temps donné, un nombre d'interruptions donné.

Comme, dans la marche du cylindre, il serait impossible de lire les divisions, et, par suite, de placer le stylet au nombre voulu, on a placé parallèlement au cylindre une petite règle en ivoire, divisée aussi en vingt parties qui correspondent aux divisions du cylindre, et, en regard du stylet, une petite aiguille que l'on met sur la division déterminée pour obtenir le nombre d'intermittences voulu.

Je vais expliquer maintenant comment je suis parvenu à obtenir que les passages successifs du courant principal ne varient pas en durée, quel qu'en soit le nombre, dans un temps donné. Cette précision, dans la durée du passage successif du courant, a une importance capitale; autrement, quelle comparaison établir entre des phénomènes qui varieraient entre eux justement comme la source qui les produira?

A cet effet, le stylet E (*fig.* 3) comporte deux contacts A et B, en platine, superposés l'un à l'autre sur une plaque d'ébonite.

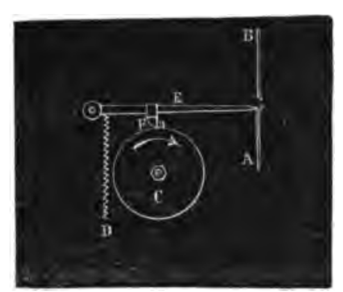
Ces contacts sont mis directement et à volonté dans le circuit

au moyen d'un ressort à boudin. On conçoit, dès lors, que, si le contact supérieur B est dans le circuit, le passage du courant sera établi au moment même où le stylet sera soulevé par une touche du cylindre C, pour cesser immédiatement lorsque la touche sera passée.

Or, comme, d'un côté, toutes les touches du cylindre ont la même vitesse, et que, de l'autre, le stylet E et le ressort antagoniste D restent invariables, il en résulte que le temps du soulèvement du stylet reste lui-même invariable, quel que soit le nombre de soulèvements pour une révolution du cylindre. Il en est de même du passage du courant qui est lié au soulèvement du stylet.

Les choses se passent autrement si la communication électrique

Fig. 3.



a lieu par le contact A, car le passage du courant aura lieu pendant toute une révolution du cylindre, si le stylet est placé sur la première division, soit une seconde par exemple, tandis que le stylet, placé sur la vingtième division du cylindre, le temps du passage du courant, n'atteindra pas $\frac{1}{20}$ de seconde. En un mot, la durée des passages successifs du courant variera comme le nombre même des intermittences, et c'est là le fait de tous les interrupteurs.

Il résulte, des deux effets que je viens d'expliquer, que pour produire des courants induits successifs, rigoureusement égaux, ce qui n'a lieu qu'avec cet appareil, il faudra établir la communication électrique avec le contact B et avec A pour produire des courants continus intermittents ou des courants induits variant en durée.

Les deux serre-fils, 1 et 2, ont été disposés, à cet effet, pour

placer le patient et l'interrupteur dans le circuit d'une batterie à courant constant et continu. Il suffit alors de mettre l'interrupteur en mouvement pour avoir des intermittences.

Je me sers encore de cet interrupteur pour déterminer, d'une manière irréfutable, le nombre des vibrations que doit donner le trembleur d'une bobine de Ruhmkorff quelconque pour obtenir de suite le maximum d'effet.

Dans ce dernier cas, les contacts, au lieu de se faire par les frotteurs métalliques AB, se font dans des auges à mercure, comme dans l'interrupteur de Foucault.

Si l'on examine de près la *fig.* 3, on s'aperçoit facilement que les contacts du stylet E avec les deux renforts frotteurs A, B se font à glissement et tangentiellement, et que, par conséquent, la fermeture et l'ouverture du courant se font instantanément, sans passer par des variations de pression, conditions les plus favorables à la production des courants induits et des chocs musculaires isolés, nets et bien tranchés.

II. *Appareil électro-médical à régulateur des intermittences, à armature articulée sur pivot et extensible, à levier mobile et à limbe gradué.* — Le trembleur comprend une armature montée sur pivot vertical sur laquelle s'ajustent des prolongements métalliques, de façon à ralentir considérablement le nombre de ses oscillations, à les doubler et à les quadrupler à volonté, comme on le verra tout à l'heure.

Je dis oscillations, parce que cette armature, avec sa partie extensible, est un véritable pendule horizontal.

Une lame de ressort en platine, placée parallèlement à l'armature, joue le rôle habituel des ressorts antagonistes des trembleurs ordinaires. Cette lame de ressort n'est en rapport avec l'armature que par son extrémité libre, de façon que, n'en portant pas le poids, elle constitue avec l'armature le trembleur le moins susceptible connu ; aussi l'appareil peut-il faire des chutes sérieuses, sans qu'on ait à craindre des détériorations de ce côté.

Un pivot vertical placé un peu au-dessus et à moitié du trembleur, pouvant tourner sur lui-même d'une demi-circonférence, porte, fixées dans la même direction, une aiguille à son extrémité supérieure parcourant un limbe gradué et une dent en platine à moitié de sa hauteur.

On peut donc faire occuper à cette dent toutes les positions que l'on veut, en s'écartant de la perpendiculaire, soit à droite, soit à gauche, jusqu'au moment où elle est parallèle au trembleur. On comprend aisément que plus la dent s'écartera de la perpendiculaire, plus le chemin parcouru par le trembleur sera grand, et, par suite, les oscillations seront de plus longues durées. Si donc on place l'aiguille au point extrême de rotation, le trembleur ne fonctionne pas, puisqu'il n'y a aucun contact, la dent lui étant parallèle, et il reste dans la position normale.

Si je place l'aiguille à la première division du limbe au moment

Fig. 4 (1).



où la dent arrive à être en contact, le trembleur, muni de ses rallonges, donnera, par exemple, un battement ou une intermittence par seconde, et la deuxième division du limbe en donnera deux,

(1) B, bobine avec armature et limbe gradué.

C, étui en ébonite, semblable à celui de la pile, contenant du bisulfate de mercure pour faire fonctionner la pile hermétique Trouvé à renversement.

D, E, F, G, électrodes diverses.

H, prolongement ou partie extensible de l'armature.

K, aiguille indicatrice.

LL', limbe gradué indiquant le nombre de vibrations de l'armature ou trembleur.

Les courants induits se recueillent comme suit :

1-2, extra-courant seul;

2-3, courant induit seul;

1-3, extra-courant et induit réunis;

4-5, contacts pour faire marcher l'appareil avec une pile quelconque dans le cabinet du médecin, afin d'économiser la pile hermétique pour la pratique extérieure.

la troisième 3, la dixième 10, etc., et les intermittences augmenteront jusqu'au moment où l'aiguille, et par cela même la dent, arriveront à être perpendiculaires au trembleur.

Si l'on ôte successivement la première et la deuxième rallonge, qui ont été calculées pour doubler et quadrupler exactement les nombres inscrits sur le limbe, le nombre des vibrations du trembleur sera également double ou quadruple, et l'on obtient ainsi les nombres suivants par chaque seconde de temps :

1° Trembleur muni de deux rallonges...	1, 2, 3, 4, ..., 10,
2° » » d'une seule rallonge.	2, 4, 6, 8, ..., 20,
3° » démuni des deux rallonges.	4, 8, 12, 16, ..., 40.

Les chiffres inscrits sur le limbe sont déterminés préalablement au moyen d'un petit chronographe enregisteur construit spécialement dans ce but.

Appareils servant à relever à distance les courbes représentatives du travail de la vapeur dans les cylindres des machines locomotives; par M. Marcel Deprez.

Tout le monde connaît l'instrument employé habituellement pour mesurer le travail développé dans les cylindres des machines à vapeur. Cet appareil, connu sous le nom d'*indicateur de Watt*, est très-suffisant dans la pratique habituelle lorsque la vitesse de la machine à laquelle on l'applique est modérée, mais ses indications sont entachées de causes d'erreur qui croissent avec la vitesse et deviennent inacceptables lorsque la machine fait de 200 à 250 tours par minute, vitesse habituelle des machines locomotives qui remorquent les trains express. En outre, son application aux locomotives présente des difficultés qui rendent les expériences pénibles, quelquefois même périlleuses pour l'observateur et gênantes pour le service. Ce sont ces considérations qui m'ont amené à imaginer les appareils exposés au Champ-de-Mars, dans le wagon d'expériences de la Compagnie du chemin de fer de l'Est.

Le problème à résoudre était celui-ci : tracer à distance une courbe dont les abscisses et les ordonnées soient respectivement

proportionnelles au chemin parcouru par le piston et à la pression exercée par la vapeur sur ce piston.

La solution à laquelle je me suis arrêté repose sur les deux principes suivants :

1° Imprimer à la feuille de papier sur laquelle doit être tracée la courbe un mouvement rigoureusement proportionnel à celui du piston ;

2° Mesurer à une époque quelconque et *instantanément* la pression de la vapeur sur le piston.

Voici comment j'ai satisfait à la première condition. Par suite des liaisons qui existent entre les forces motrices de la locomotive et les pistons, le mouvement de ces derniers est une fonction parfaitement déterminée de l'angle décrit par les roues ; il suffit donc d'imprimer à une roue située dans le wagon d'expériences une vitesse rigoureusement égale à celle des roues de la locomotive pour pouvoir reproduire ensuite, grâce à des liaisons convenables, le mouvement des pistons. A cet effet, au moyen de transmissions faciles à imaginer, les roues du wagon servent à transmettre à l'intérieur de ce dernier deux mouvements de rotation dont les vitesses sont très-différentes : l'une est *à peu près égale* à celle des roues de la locomotive ; l'autre, beaucoup plus faible, est communiquée à un plateau qui entraîne par adhérence une roulette nommée *roulette correctrice,* dont la distance au centre du plateau peut varier arbitrairement au moyen d'une vis de rappel. Ces deux mouvements, l'un à peu près égal à celui des roues de la locomotive, l'autre beaucoup plus lent, mais arbitraire, sont ajoutés au moyen d'un train différentiel, et c'est leur somme algébrique qui est finalement communiquée à l'axe, qui doit être animé d'une vitesse rigoureusement égale à celle de l'essieu moteur de la locomotive. Voici maintenant comment on constate que cette égalité rigoureuse est atteinte. La roue, animée de la somme des deux mouvements sus-indiqués, porte, suivant un rayon, un tube de Geissler ou un circuit rectiligne interrompu en un point et entraîné dans sa rotation ; d'autre part, l'essieu moteur de la locomotive porte un taquet qui interrompt à chaque révolution un courant qui traverse le gros fil d'une bobine d'induction. Cette interruption fait naître dans le fil fin un courant induit qui se traduit par une étincelle ou un éclairement instantané du tube de Geissler. Il est évident que,

si la vitesse de rotation du tube est rigoureusement égale à celle de l'essieu moteur, l'étincelle éclatera toujours au même point de l'espace. C'est donc cette condition qu'on devra remplir en agissant sur la vis de rappel de la roulette correctrice. Mais cette condition, qui est nécessaire, n'est pas suffisante : il faut encore que l'étincelle éclate en un point déterminé de l'espace; on y arrive dès que l'immobilité apparente de l'étincelle a été constatée, en agissant sur un second train différentiel qui permet d'amener pendant la marche l'étincelle en un point déterminé de la circonférence qu'elle décrit. Ces deux conditions remplies (et elles doivent toujours l'être dans l'ordre indiqué), on est certain que le mouvement imprimé aux deux feuilles de papier est rigoureusement semblable à celui des deux pistons de la machine.

Voici maintenant comment on peut mesurer et enregistrer à une époque quelconque et instantanément la pression de la vapeur sur les pistons.

A chacune des extrémités des cylindres se trouve une petite capacité divisée en deux parties complétement distinctes par une membrane en acier très-mince. La partie inférieure communique avec le cylindre et la partie supérieure avec un petit réservoir d'air comprimé situé dans le wagon. L'amplitude des excursions que peut faire la membrane est limitée par deux plaques métalliques rigides qui ne lui permettent qu'un mouvement de $0^m,001$ à $0^m,002$. Un courant électrique traverse la membrane, l'une ou l'autre des plaques contre lesquelles elle s'appuie, et traverse enfin les bobines de l'électro-aimant d'un de mes petits enregistreurs à pointage, situé en face du papier animé du même mouvement que le piston de la machine. Il résulte de là que, chaque fois que la membrane métallique quittera l'une des plaques d'appui, le courant sera rompu pendant le temps très-court qu'elle met à franchir l'intervalle des deux plaques, et cette interruption aura pour effet de provoquer un pointage sur la feuille de papier. Or, la membrane métallique ayant une très-faible épaisseur et une grande surface ne peut quitter une des plaques d'appui pour aller sur l'autre, qu'au moment où la pression de la vapeur sur l'une de ses faces différera extrêmement peu de la pression de l'air comprimé sur l'autre face. Le fonctionnement de l'enregistreur indiquera donc qu'il y a équilibre entre ces deux pressions; d'ailleurs, la pression de l'air com-

primé est donnée par un indicateur ordinaire de pression dont le piston, au lieu de porter un crayon, porte précisément l'enregistreur. Ce dernier se déplace donc parallèlement à l'axe des ordonnées de la courbe qu'il s'agit de tracer de quantités proportionnelles à la pression. Donc, enfin, le point marqué par lui sur le papier aura pour abscisses le chemin parcouru par le piston depuis l'origine et pour ordonnée la pression de l'air comprimé (et par suite celle de la vapeur) à l'instant considéré. Ce point appartiendra donc à la courbe représentative du travail de la vapeur dans le cylindre. Pour obtenir un second point, il suffit de donner à l'air comprimé une pression plus faible par exemple. En généralisant ce qui vient d'être dit, on voit que l'on obtiendra autant de points qu'on voudra en laissant simplement l'air s'écouler lentement par une fuite capillaire. L'enregistreur marquera alors deux points de la courbe à chaque tour de roue de la machine, et, si l'écoulement de l'air est suffisamment lent, on obtiendra des points très-rapprochés les uns des autres. Il est facile de voir, d'ailleurs, qu'un seul enregistreur suffit pour tracer les deux courbes relatives aux deux faces d'un même piston, à la condition que le courant électrique traverse *successivement* les deux membranes, de façon que le mouvement d'une seule des deux suffise pour le rompre. Il résulte également de là qu'*un seul indicateur* suffit pour tracer simultanément les courbes relatives à un nombre quelconque de machines à vapeur, à la condition qu'il y ait autant de feuilles de papier animées de mouvements propres et autant d'enregistreurs qu'il y a de machines. Dans le wagon d'expériences, il y a deux cadres destinés à recevoir les deux feuilles de papier correspondant aux deux pistons de la locomotive.

Dans cette courte description, j'ai passé sous silence beaucoup de détails qui l'auraient allongée outre mesure, mais dont il a fallu absolument tenir compte pour arriver au succès. J'espère en avoir dit assez pour bien faire comprendre les difficultés de la question et les efforts que j'ai faits pour en donner une solution absolument rigoureuse.

Enregistreurs métérélogiques; par M. Marié-Davy.

Il n'est guère, aujourd'hui, d'observatoire météorologique qui ne soit muni d'appareils enregistreurs. Le nombre de ces appareils est donc déjà considérable, et les systèmes adoptés pour leur construction sont presque aussi nombreux. A l'Observatoire de Montsouris, j'ai préféré l'enregistrement continu à l'enregistrement par points, et les tracés effectués par une pointe métallique fine sur papier glacé et noirci au noir de fumée, à l'emploi du crayon ou au gaufrage par pression ou par choc.

Le *barographe* de Montsouris est un baromètre-balance imaginé par le P. Cecci et adopté ultérieurement par le P. Secchi. Le tube barométrique AB (*fig.* 1) est en fer, de $0^m,03$ de diamètre intérieur, et du même calibre dans toute sa longueur. Il est fixe, et porte, à son extrémité inférieure, un manchon plongeur dont la section pleine est égale à la section vide du tube barométrique. La cuvette C est en fonte, et suspendue à l'une des extrémités d'un fléau de balance D, dont l'autre extrémité porte un contre-poids E. Le centre de gravité du fléau chargé coïncide, autant que possible, avec l'arête du couteau central, de manière à rendre l'équilibre indifférent. Il en résulte que, quand, par suite d'une hausse barométrique, une partie du mercure monte de la cuvette dans le tube, celle-ci, devenue plus légère, tend à s'élever, ce qui a pour effet d'introduire dans le mercure de la cuvette une longueur plus grande du cylindre plongeur. L'équilibre n'est rétabli que quand, le volume du mercure déplacé par le plongeur étant égal à celui qui correspond dans le tube à l'accroissement de hauteur de la colonne barométrique, le niveau du mercure de la cuvette est revenu à son point constant, et que, par suite, le poids apparent de cette cuvette a repris sa valeur fixe. C'est l'aiguille *h* du fléau de la balance qui marque ses déplacements à la surface du cylindre noirci *k*. Reste à lire ses indications. Pour y parvenir plus sûrement, le support du cylindre porte un électro-aimant dont l'armature est munie d'un bras armé d'une pointe métallique [1]. En temps ordinaire, cette

(1) Cet électro-aimant, qu'on voit dessiné dans le thermographe (*fig.* 4), n'est pas représenté dans la *fig.* 1. L'aiguille fixe *k* en tenait lieu.

N. B. — Nous devons à l'obligeance de M. Gauthier-Villars les figures qui accompagnent cet article, et qui sont extraites de l'*Annuaire de Montsouris* pour 1879.

pointe est fixe et trace, sur le cylindre, une ligne de repère servant de point de départ pour mesurer les ordonnées de la courbe barométrique ; mais à chaque heure l'électro-aimant est actionné par une pendule marquant l'heure sur tous les enregistreurs ; la pointe

Fig. 1.



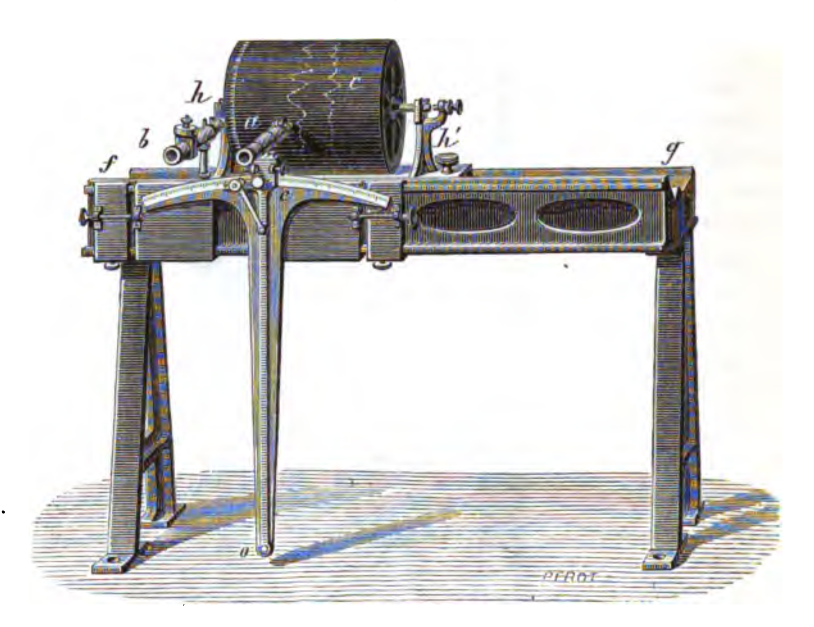
Baromètre enregistreur.

s'écarte momentanément de la ligne de repère, et dessine un trait net qui se reproduit au même instant sur les autres cylindres. A la fin de chaque semaine, le cylindre est enlevé pour être remplacé par un autre préparé à l'avance, et il est transporté sur l'appareil des lectures.

Cet appareil (*fig.* 2) se compose d'un banc en fonte horizontal *fg*, muni, sur sa table supérieure, de deux colonnes *h*, *h'*, destinées à

supporter l'axe du cylindre, et, sur une seconde table verticale, de deux microscopes dont les chariots peuvent se déplacer soit isolément, soit d'ensemble dans la direction horizontale. Une vis sans fin permet d'imprimer au cylindre un mouvement de rotation sur son axe, afin de présenter successivement les diverses génératrices du cylindre en avant des viseurs.


Fig. 2.



Micromètre servant à la lecture des courbes tracées par les enregistreurs.

Le microscope *b* reste toujours pointé sur la ligne des repères, et c'est pour suivre cette ligne dans les déplacements accidentels qu'elle pourrait subir, que les deux viseurs peuvent se déplacer d'ensemble par l'action d'une vis de rappel. Ce premier microscope de la ligne des repères porte en son foyer deux fils croisés, l'un horizontal, l'autre vertical. A chaque lecture horaire, un des traits horizontaux de la ligne des repères est amené sous le fil horizontal du microscope. Mais, comme la courbe barométrique présente souvent des inflexions dont il est utile de noter l'heure exacte, le point intéressant de cette courbe étant amené sous le microscope mobile *a*,

un second fil horizontal, mobile par une vis micrométrique, sert à mesurer la distance de ce point au trait horaire immédiatement en avant.

Le microscope *a* est porté à l'extrémité d'un bras de levier dont la longueur est égale à celle de l'aiguille barométrique; il décrit, par suite, un arc de cercle de même rayon que la pointe de l'enregistreur. Ce second microscope porte une croisée de fils comme le premier, mais saus fil mobile. Le microscope des repères étant pointé sur un signe horaire, on amène l'axe du second sur le point correspondant de la courbe. Le sinus de l'angle de position de son levier, multiplié par un facteur constant et augmenté d'un nombre également constant, donne la hauteur du baromètre au moment choisi. Quand le dépouillement de la courbe est ainsi fait et vérifié, la feuille de papier noirci est enlevée du cylindre et trempée dans une dissolution faible de gomme laque ou de copal dans l'alcool. Le noir de fumée est fixé et la feuille est mise en carton.

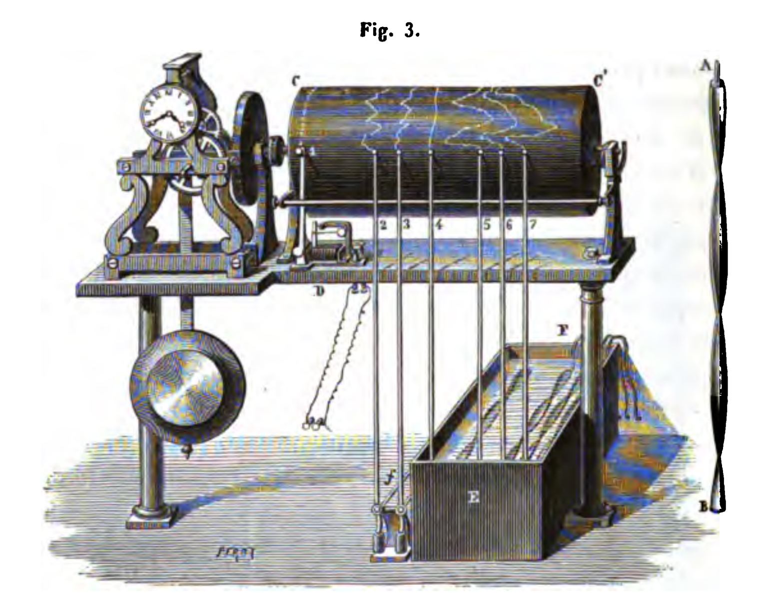
Les plus faibles variations barométriques sont ainsi accusées avec une grande fidélité, et à l'examen des courbes on reconnaît aisément l'influence que l'état dynamique de l'atmosphère ajoute ou retranche à son poids dans la pression qu'il exerce sur le sol. Il convient d'ajouter que l'uniformité du calibre du tube barométrique annule à peu près complétement l'action de la température sur les indications de l'instrument.

Les *thermographes* fonctionnent par un procédé analogue, saut que le moteur est ici formé par un tube Bourdon en cuivre écroui, à section elliptique très-allongée, et tordu sur lui-même en une sorte de spire dont le pas varie de $0^m,020$ à $0^m,030$, suivant l'objet que l'on se propose. AB (*fig.* 3) représente un de ces tubes formant un peu plus d'une spire. Ce tube est exactement rempli d'alcool et fermé à ses deux extrémités. La dilatation de l'alcool l'oblige à se détordre; mais, pour que son élasticité se conserve, la pression intérieure, correspondant aux plus hautes températures à atteindre, ne doit pas dépasser 8 ou 9^{atm}. Cette pression est d'autant plus grande, que le pas de la spire est plus court. Le tube torse est fixé par l'un de ses bouts; l'autre extrémité libre porte l'aiguille mobile chargée des indications. A Montsouris, cette aiguille a $0^m,50$ de longueur, comme celle du baromètre. Le procédé de

lecture des courbes reste ainsi exactement le même pour tous les enregistreurs à aiguille.

Le nouveau thermographe de l'Observatoire de Montsouris comprend sept aiguilles fonctionnant sur le même cylindre. La première aiguille (n° 1) appartient à l'électro-aimant chargé de tracer la ligne de repère et les signes horaires; les aiguilles 2 et 3

Fig. 3.



Thermographe.

appartiennent au psychromètre; les aiguilles 4 et 5 inscrivent la température de la surface d'un sol exposé à l'air sans abri; les aiguilles 6 et 7 correspondent à l'actinomètre.

Le *psychromètre* est formé de deux tubes torses placés extérieurement sur la face nord du kiosque en bois qui abrite le cylindre, et perpendiculairement à cette face. Leur extrémité la plus éloignée est fixe, l'autre se prolonge au travers de la paroi du kiosque par une tige de cuivre pleine portant l'aiguille indicatrice. L'un des tubes torses est nu et forme le thermomètre sec; l'autre est enveloppé de batiste et maintenu mouillé au moyen de mèches de coton plongeant dans de petits godets en verre, mis en relation avec un flacon de Mariotte placé dans le kiosque à l'aide

d'un tube long et fin de caoutchouc. Un instrument de ce genre fonctionne depuis environ quinze mois à Montsouris ; sa marche est régulière et sa sensibilité très-grande.

Le *thermomètre du sol* se compose de deux parties : un réservoir thermométrique en cuivre noir est placé à la surface d'un bloc de terreau dont le sommet affleure la plate-forme du toit du kiosque ; ce réservoir communique par un tube de cuivre capillaire avec un tube torse placé dans le kiosque sous le cylindre de l'enregistreur. Quand la température du sol monte, une partie de l'alcool passe du réservoir supérieur dans le tube torse, la pression s'accroît et le tube se détord ; mais le tube torse lui-même et son tube de cuivre capillaire passent eux-mêmes par des températures variables qui compliqueraient les résultats. Un second tube torse, semblable au premier, muni de son tube capillaire, sert à donner les corrections nécessaires. Les deux tubes torses sont disposés parallèlement dans une cuve EF remplie d'eau glycérinée : les deux tubes capillaires sont soudés l'un à l'autre dans toute leur longueur. Les deux aiguilles tracent deux courbes, l'une très-peu sinueuse, l'autre très-accidentée : on mesure la différence de leurs ordonnées. On obtient ainsi les températures d'un sol exposé au soleil le jour, au rayonnement nocturne pendant la nuit, à la pluie et à l'évaporation.

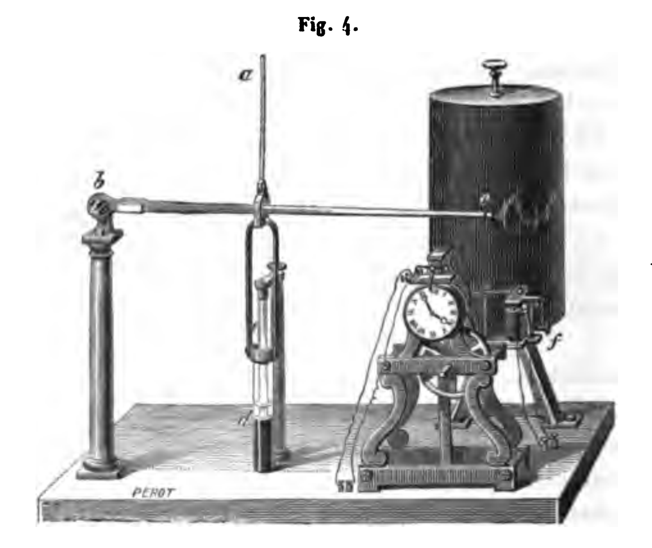
L'*actinomètre* se compose également de deux tubes torses couchés parallèlement dans la cuve d'eau glycérinée EF et de deux tubes capillaires. A chacun de ces tubes correspond un réservoir placé au sommet du toit du kiosque, et renfermé dans une enveloppe de verre dans laquelle on a fait le vide sec. L'un des réservoirs est argenté, l'autre a été noirci. Placés symétriquement à peu de distance l'un de l'autre et loin de tout abri, ils donnent les mêmes indications durant la nuit ; mais, pendant le jour, le thermomètre noir marque plus haut que le thermomètre blanc. Les différences des ordonnées des courbes tracées par les deux aiguilles servent à mesurer le degré actinique. Chaque nuage qui passe sur le soleil donne lieu à un abaissement rapide et considérable des températures des thermomètres blanc et noir et de celle de la surface du sol.

L'*atmographe* est un troisième instrument enregistreur destiné à marquer les variations de poids que subit un bloc de terre dont

la surface affleure le sommet de la plate-forme du toit du kiosque, et est exposée au soleil, à l'évaporation, aux pluies, neiges et rosées. A peu de distance est le pluviomètre enregistreur. La comparaison des deux courbes montre ce que devient l'eau qui tombe sur la terre nue, sans végétation, et fait la part de ce qui en retourne à l'atmosphère par évaporation, et ce qui en pénètre dans le sous-sol supposé perméable ou drainé. Un autre atmographe, autrefois présenté à la Société de Physique (¹), donne les mêmes indications pour un sol garni de plantes diverses; mais ce dernier étant abrité du vent doit être arrosé suivant les besoins.

La *fig.* 4 représente seulement l'enregistreur de l'atmographe.

Fig. 4.



Enregistreur de l'atmographe.

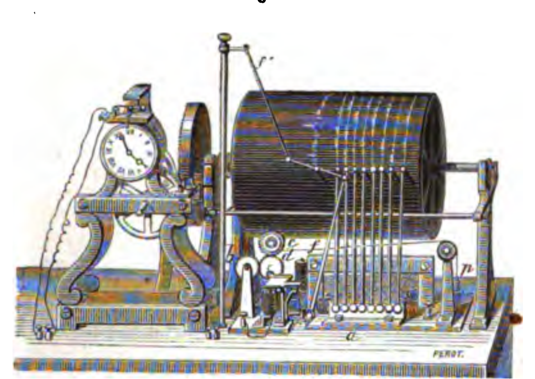
a est la partie inférieure de la tige qui est suspendue à l'extrémité du bras de la bascule, sur laquelle est placé le bloc de terre. Un second bras de levier *bc* suit, en les amplifiant, les mouvements de cette tige qu'elle inscrit sur le cylindre vertical recouvert de papier noirci au noir de fumée. Cette même tige porte une éprouvette en verre *d*, garnie de mercure, dans laquelle plonge un tube de

(¹) Séances de la Société française de Physique, année 1877, p. 98.

verre *e* qui est fixe. Le diamètre de cette tige est calculé de telle sorte, que la pointe *c* parcourt $0^{m},1$ pour chaque millimètre d'eau gagnée ou perdue par le bloc de terre. En temps calme, on peut donc apprécier les $\frac{1}{10}$ de millimètre ; mais, quand l'air est agité, les composantes verticales du vent font osciller l'aiguille et diminuent la précision des lectures.

L'*anémographe* (*fig.* 5) nous donne, à la fois, la direction du

Fig. 5.



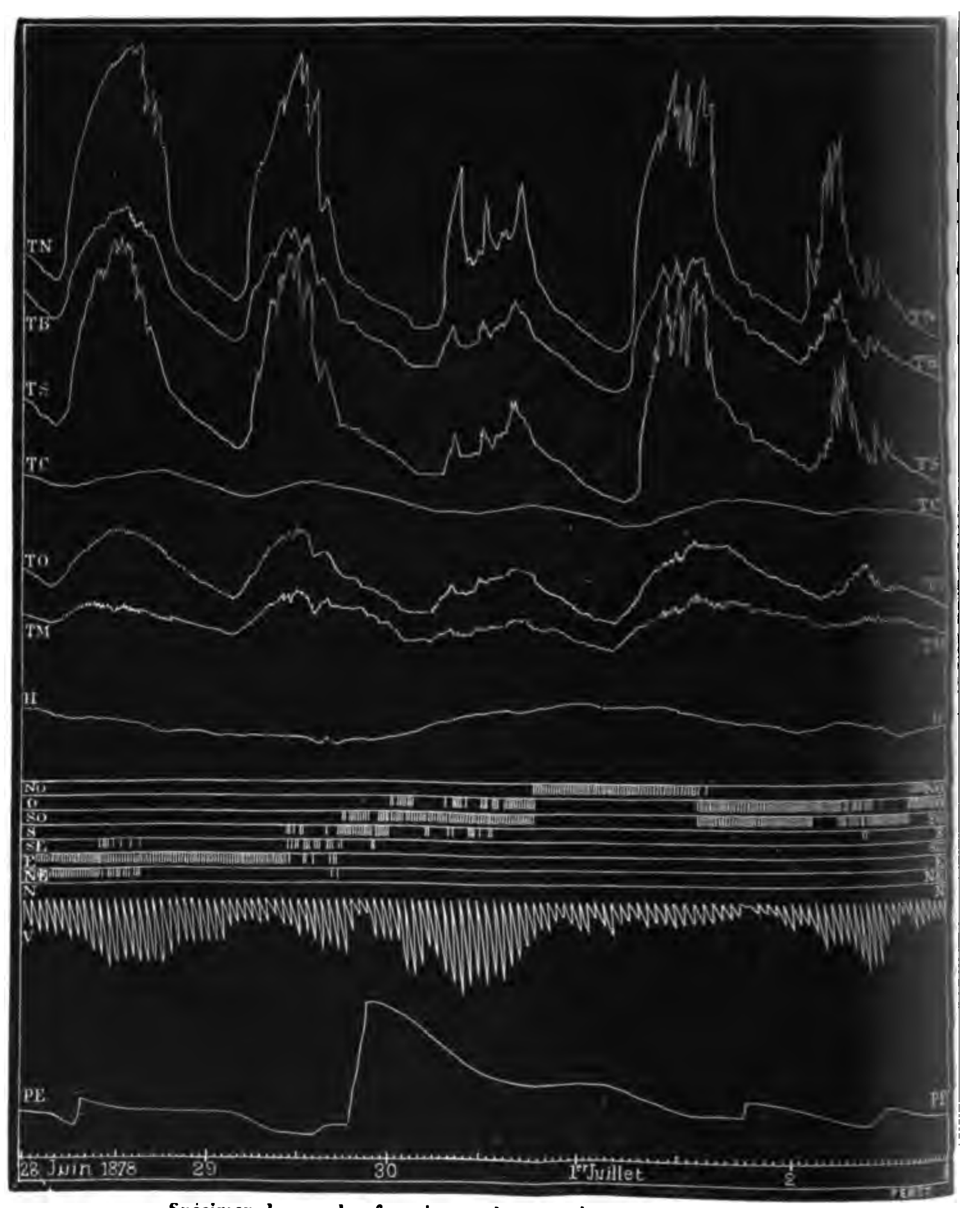
Anémographe.

vent et sa vitesse moyenne par heure. Huit électro-aimants communiquant électriquement avec les secteurs disposés sur la girouette suivant les huit rhumbs principaux du vent peuvent, en fonctionnant isolément ou deux à deux, inscrire les vents de seize directions, ce qui est nécessaire, mais suffisant, pour les besoins de la Météorologie. Un neuvième électro-aimant est actionné chaque fois que le moulinet Robinson accuse un chemin de 1^{km} parcouru par le vent. La roue dentée *b* marche alors d'une division, et son mouvement est transmis par la roue satellite *d* à une troisième roue dentée *c*, sur l'axe de laquelle s'enroule un fil *cp*. La pointe des vitesses marche alors de 1^{mm} vers la gauche. Cet effet se reproduit pendant une heure à chaque kilomètre parcouru par le vent ; mais, à la fin de chaque heure, l'aiguille de la pendule établit un contact électrique ; la roue satellite *d* s'abaisse ; la roue *c* devient libre et le poids *p* ramène la pointe métallique à son point de départ.

La *fig.* 6 présente un spécimen des courbes tracées par les en-

registreurs du 28 juin au 3 juillet 1878 : elles ont été réduites au tiers de leur grandeur naturelle.

Fig. 6.



Spécimen des courbes fournies par les enregistreurs de Montsouris.

En commençant par le haut, nous trouvons d'abord les deux courbes TN et TB dont l'ensemble fournit les données actinométriques : TN est la courbe du thermomètre noir, TB celle du thermomètre blanc.

Les deux courbes suivantes, TS et TC, donnent la température de la surface du sol sans abri ; TS correspond au thermomètre du sol ; TC donne la correction à faire aux ordonnées de la première.

Les deux courbes TO et TM sont celles du thermomètre sec et du thermomètre mouillé : elles donnent, outre la température de l'air à l'ombre, son degré hygrométrique et la force élastique de sa vapeur.

H est la courbe des pressions barométriques.

Au-dessous se trouvent huit lignes droites correspondant aux huit directions principales du vent : les lignes verticales qui s'en détachent marquent celles de ces directions dans lesquelles le vent a soufflé. Au-dessous encore, se trouvent marquées les vitesses V du vent en kilomètres à l'heure.

La dernière courbe PE est donnée par l'atmomètre. L'accroissement des données verticales de cette courbe marque les pluies ; leur diminution mesure l'évaporation. Malgré des pluies fréquentes et une fois très-copieuses, la terre, au 3 juillet, avait à très-peu près repris son poids du 28 juin.

Enfin la dernière ligne est la ligne des repères avec les signes horaires.

SÉANCE DU 5 JUILLET 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Olivier (Louis), licencié ès sciences naturelles, à Elbeuf ; Poussin (Louis), avocat, à Elbeuf.

Le Président donne lecture d'une lettre de M. Adams, président de la Société de Physique de Londres, lui annonçant l'élection,

comme membre *ex officio* de cette Société, du président de la Société française de Physique. Après cette lecture, le président propose, sur l'avis unanime du Conseil, d'inscrire à perpétuité parmi les membres de la Société française de Physique le président de la Société de Physique de Londres. Cette proposition est votée à l'unanimité.

M. Maumené expose les recherches qu'il a faites sur la quantité de chaleur que l'huile dégage par son mélange avec l'acide sulfurique.

M. Mercadier présente, au nom de M. Albert Duboscq, des diapasons entretenus électriquement, et montés de façon qu'on puisse répéter facilement et même projeter un grand nombre d'expériences d'acoustique.

M. Mascart présente, au nom de M. Silvanus P. Thompson, professeur à University College, Bristol, qui assiste à la séance, une série de plaques sur lesquelles ont été obtenues directement les lignes de forces magnétiques dans diverses circonstances : ces plaques sont projetées à l'aide de l'appareil de M. Duboscq et donnent des images très-nettes et fort intéressantes. Pour obtenir ces plaques, M. S.-P. Thomson emploie des lames de verre qu'il recouvre d'une dissolution contenant de la gomme arabique et de la gélatine, et qu'il laisse sécher. Lorsque la surface est devenue solide, l'aimant ou le courant étant placé convenablement, on projette de la fine limaille de fonte sur la plaque rendue horizontale, et, en la frappant à petits coups secs avec une baguette de verre, on facilite le groupement de cette limaille. Lorsque l'arrangement de la poussière métallique est définitif, on projette sur la plaque, à l'aide d'un tube de caoutchouc, un peu d'eau assez lentement pour ne pas déplacer la limaille, qui se trouve alors fixée dans la couche de gomme ramollie, qui se durcit ensuite en donnant une image désormais invariable de la disposition obtenue. Un constructeur de Londres, M. York, est chargé de faire la reproduction des figures déjà obtenues par M. S.-P. Thompson (au nombre de 40), de telle sorte que celles-ci peuvent devenir réellement classiques.

M. Maurat fait fonctionner un sonomètre de M. Camiolo, basé sur la loi, convenablement corrigée, qui lie la hauteur du son rendu par une corde tendue à la valeur du poids qui la tend.

SÉANCE DU 19 JUILLET 1878.

PRÉSIDENCE DE M. D. GERNEZ.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Aymonnet, répétiteur à l'École de Grignon; Édelberg, ingénieur-opticien à Kharkoff (Russie); Teploff, colonel du corps du génie impérial russe, à Saint-Pétersbourg.

Plusieurs membres ayant demandé que, en raison de l'Exposition, la Société tienne pendant les vacances quelques séances supplémentaires, le Président met aux voix cette proposition, qui est adoptée.

M. Mercadier s'est proposé de mesurer les différences de phase des mouvements vibratoires de deux diapasons.

En les faisant vibrer régulièrement, M. Lissajous a pu tirer des courbes alors produites le rapport $\frac{m}{n}$ des nombres de leurs vibrations, mais non la valeur de la différence de leurs phases. M. Mercadier les fait vibrer parallèlement.

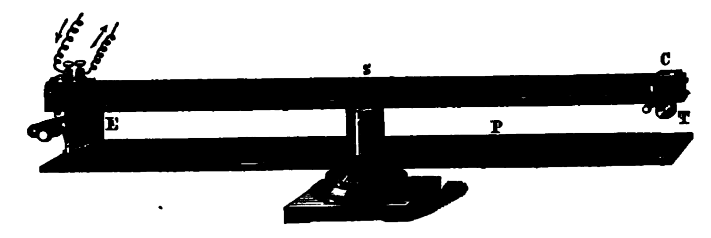
Qu'on les suppose, par exemple, munis tous deux d'une fente, celle de l'un étant parallèle à celle de l'autre et dans une direction normale au mouvement vibratoire qui les entraîne; les deux fentes sont placées en regard l'une de l'autre, de façon que, quand les diapasons sont au repos, l'œil puisse voir à travers le système un trait lumineux placé de l'autre côté; les rayons lumineux arriveront à l'œil pendant le mouvement, toutes les fois que les deux fentes se retrouveront en regard. M. Mercadier montre alors que, par suite de la persistance des impressions sur la rétine, on apercevra un système de traits parallèles et inégaux en intensité; on tirera de leur nombre total le dénominateur du rapport $\frac{m}{n}$; de la comparaison du nombre des faibles et des fortes le numérateur, et enfin des relations de distance qu'elles présenteront, la différence de phase des deux mouvements vibratoires.

M. Duboscq projette le phénomène dans le cas de l'unisson.

M. Ducretet montre une forme nouvelle de l'expérience de Melde, réalisée par M. Schwedoff.

Appareil pour l'étude des mouvements vibratoires des cordes;
par M. TH. SCHWEDOFF.

Cet appareil de démonstration est d'une grande simplicité. Les ondes stationnaires de la corde vibrante sont obtenues au moyen d'un trembleur électrique E : les phénomènes de vibration persistent aussi longtemps qu'on le désire, sans changer d'intensité.



Ce trembleur E ne diffère pas de ceux employés pour les sonneries électriques; la corde fixée à la palette de fer doux du trembleur suit ses mouvements et vibre transversalement. L'autre extrémité de la corde est fixée à un tendeur T, qui permet de faire varier la tension. Un curseur mobile C permet de faire varier la longueur de la partie vibrante, indiquée par les divisions du support S. La planchette P en bois noirci sert d'écran devant la corde vibrante. Les ventres et les nœuds qu'on observe sont d'une grande netteté. Une certaine tension du tendeur T ne donne qu'un seul ventre; en la *diminuant* graduellement, on obtient facilement 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ... ventres, séparés par des nœuds qui semblent immobiles. Ces ventres ayant beaucoup d'ampleur (corde de soie ou de coton blanc), quelques points noirs tracés sur la corde laissent l'impression de ses vibrations; on voit parfaitement qu'elle vibre dans un plan si les rapports entre les vibrations du trembleur et de la corde sont justes; dans le cas contraire, elle exécute des mouvements elliptiques ou circulaires.

Toutes les lois sur les vibrations des cordes peuvent être vérifiées. Au tendeur à friction T peut être substitué un tendeur à poids variables. Cet appareil, construit par M. E. Ducretet, a été présenté, au nom de M. Schwedoff, à la Société française de Physique.

Support universel ou électro-diapason permettant d'inscrire et montrer en projection les mouvements vibratoires; par M. ALBERT DUBOSCQ.

Ce support permet de disposer les diapasons de manière à répéter un grand nombre d'expériences avec le même appareil. Il se compose d'une tige cylindrique verticale A, le long de laquelle se déplace une douille munie d'une sorte de cornière fixée à une coulisse horizontale B, sur laquelle glisse le diapason. La cornière peut

Fig. 1.



tourner autour d'un axe horizontal O et se fixer au moyen d'une pince de serrage. Le diapason se place sur un support C glissant sur la coulisse ; cette disposition permet donc de fixer le diapason à une hauteur variable et dans un azimut quelconque, d'approcher ou d'éloigner ses extrémités d'un point déterminé, et de placer le sens des vibrations dans un plan vertical, horizontal ou oblique.

Les vibrations du diapason sont entretenues électriquement par un système analogue à celui employé par M. Mercadier et décrit dans le *Journal de Physique*, t. II, p. 350. A cet effet, un électro-aimant E et un interrupteur D glissent le long de la coulisse, le premier intérieurement et le second extérieurement aux branches du diapason. Un style attaché à une petite pince s'adapte sur l'une des branches en regard de l'interrupteur. Le courant entre par l'électro-aimant passe du diapason par le style et retourne à la pile.

On place sur les branches du diapason des pinces ou curseurs portant : des glaces noircies, des styles inscripteurs, des miroirs, contre-poids, lentilles, etc., servant à la projection des figures de M. Lissajous, expériences de Melde, inscription de deux mouvements vibratoires parallèles ou rectangulaires., intervalle déterminé, battements, etc., etc. Cet appareil peut servir de chronoscope et de phonoptomètre.

Deux supports identiques à celui qui vient d'être décrit forment l'ensemble de l'appareil à l'aide duquel on peut répéter les expériences suivantes :

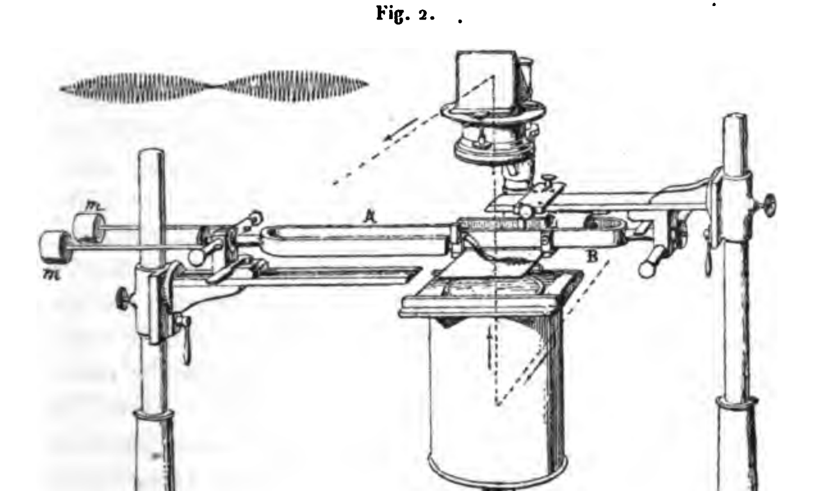
1° *Inscription en projection de deux mouvements vibratoires parallèles; battements.* — Sur l'un des supports on place le diapason B (*fig.* 2) que l'on fera vibrer électriquement. A l'une de ses branches on fixe, à l'aide de curseurs spéciaux, une glace noircie que l'on dispose au-dessus de l'appareil à projection horizontale de M. J. Duboscq. Sur la seconde branche, on place le curseur à style interrupteur et des curseurs contre-poids destinés à équilibrer la glace. On remarque ici que tout le système est renversé, c'est-à-dire que le diapason est placé en dessous, afin que la glace noircie s'approche le plus près possible de la lentille condenseur de l'appareil à projection, pour obtenir le plus grand champ éclairci possible.

Sur le second support, on place le diapason A équilibré à l'aide de poids mobiles m, m', portant à l'une de ses extrémités un curseur à style inscripteur; on supprime le système électrique, et l'on fait vibrer le diapason à l'archet, puis on le fait glisser le long de la coulisse en bronze du support, de manière que le style du diapason A trace en même temps sur la glace noircie, portée par le diapason, la combinaison de ces deux mouvements vibratoires.

On règle la position des curseurs de façon à obtenir l'unisson ; on voit alors une sinusoïde régulière se projeter sur l'écran, en même temps qu'elle se trace sur la lame de verre. S'il existe une petite différence entre les deux diapasons, on obtient alors des battements, et la courbe présente des nœuds et des ventres, comme l'indique la *fig.* 2.

Si l'on place le support du diapason A perpendiculairement au diapason B, on peut également inscrire et projeter la combinaison de deux mouvements vibratoires perpendiculaires.

Fig. 2.



2° *Inscription des intervalles.* — Pour inscrire l'intervalle des sons donnés par deux diapasons, on en place un sur chaque support, et on les munit chacun d'un style inscripteur équilibré par des curseurs contre-poids ; on fait vibrer électriquement les diapasons que l'on place l'un vis-à-vis de l'autre, un peu de côté, leurs axes étant parallèles : les styles sont côte à côte et tournés dans le même sens.

Sur l'appareil à projection on place une planchette à rainure, dans laquelle glisse une glace noircie, divisée à l'avance en traits parallèles équidistants. Les diapasons étant en vibration, on fait glisser la glace, que l'on tire à l'aide d'un fil, sur laquelle les deux styles tracent les courbes représentant les mouvements vibratoires

des diapasons. En comptant sur chaque courbe le nombre de vibrations comprises entre deux mêmes traits, on peut déterminer l'intervalle des sons donnés par les diapasons.

Sur un élément nouveau de la détermination des chimi-calories ; par M. E.-F. Maumené.

Les modifications moléculaires dont la chaleur peut être la cause ont déjà fourni le sujet d'études nombreuses, mais toujours à l'unique point de vue des modifications physiques.

On sait que beaucoup de corps simples ou composés changent de couleur avec la température. Le biiodure de mercure dont la *couleur froide,* on pourrait dire, est le rouge écarlate, offre une *couleur chaude* jaune d'or. Ces changements de couleur sont parfois tout à fait passagers ; ils disparaissent avec l'échauffement. Le vermillon ou bisulfure de mercure devient noir avec 300°, mais reprend sa belle couleur rouge en refroidissant. Parfois les changements sont durables malgré le refroidissement, mais le *temps* ou certaines actions physiques, le frottement, par exemple, ramènent la couleur froide. Le biiodure de mercure, devenu jaune à 200°, reste jaune en refroidissant, mais peu à peu certaines parties redeviennent rouges avec le temps ; on peut le ramener immédiatement à cette couleur froide en le frottant avec une baguette de verre sur du papier.

Les changements paraissent faciles à comprendre dans les solides où l'arrangement moléculaire, modifié par la chaleur, peut se maintenir, un temps au moins, sous l'influence de la cohésion. Ils paraissent impossibles dans les liquides où les mouvements atomiques ne peuvent éprouver d'obstacles pendant le refroidissement. Ils se manifestent pourtant d'une manière non douteuse jusqu'à changer grandement les énergies chimiques, au moins quant à la chaleur dégagée pendant les actions dont elles sont cause.

J'ai reconnu ce fait important dans une étude digne, je crois, d'attirer l'attention des physiciens.

Lorsqu'on mêle une certaine quantité d'acide sulfurique récem-

ment bouilli, et par conséquent chauffé à 326°, avec une quantité déterminée d'une huile, celle d'olive, par exemple, il se dégage beaucoup de chaleur; 18gr,42 d'acide, ou 10cc mêlés avec 50gr d'huile dégagent 44° de chaleur. Je n'insisterai pas sur l'application chimique : on peut faire l'analyse des huiles par ce moyen, les huiles dégageant des quantités de chaleur très-inégales, pour l'huile de lin, par exemple, etc.; mais considérons le côté physique (ou physico-chimique) des actions de ce genre.

Si l'acide bouilli est conservé bien intact dans un vase fermé à la lampe, et si au bout de cinq à six semaines on fait une nouvelle expérience avec les mêmes quantités des deux matières, on trouve un dégagement de chaleur beaucoup moins grand : il n'est plus que de 34°,5 au lieu de 44. La différence n'est pas du tout de celles qu'on pourrait attribuer aux erreurs d'expérience; elle ne varie pas de $\frac{1}{4}$ de degré dans vingt expériences consécutives : une différence de 10° ne peut laisser place à aucun doute.

On pourrait craindre un autre genre d'erreur, on pourrait penser, en raison de la nature végétale de l'huile, que le dégagement de chaleur est variable ; il n'en est rien, j'ai fait plusieurs centaines de ces essais ; ce qui frappe, c'est leur constance invariable et parfaite. Quand l'huile d'olive est pure, jamais on n'obtient d'autre résultat que ceux-ci :

Avec l'acide récemment chauffé..........	44°
Avec l'acide ancien......................	34°,5

Le fait est d'ailleurs confirmé par un autre non moins digne d'attention. L'huile d'olive peut résister à 300° sans éprouver d'altération chimique notable. Elle ne se colore aucunement; son odeur devient très-faiblement acroléique, sa densité ne varie pas. Chauffée à 300° au bain d'huile, puis exposée de suite après refroidissement à l'action de l'acide récemment chauffé, elle fournit 34°,5, comme si les deux corps n'avaient été chauffés ni l'un ni l'autre.

Les faits présentés par l'acide sulfurique et l'huile d'olive ne sont pas uniques : les autres huiles donnent des résultats semblables. Je les ferai connaître dans un autre travail. J'ajouterai seulement aujourd'hui qu'aucun indice de polarisation pouvant révéler quelque partie de l'étrange mouvement moléculaire dont j'ai fait la re-

marque ne peut être observé, du moins sous l'épaisseur de 200^{mm}.

Avec l'eau dont la simplicité de composition ne permet plus d'objecter une structure passagère, un reste de vie végétale, comme pour les huiles, on observe pourtant un effet du même genre, mais moins prononcé : $18^{gr},42$ d'acide et 50^{gr} d'eau produisent 3° de plus avec l'acide chauffé.

Le temps ne m'a pas encore permis de mettre en présence de l'eau récemment chauffée avec l'acide ancien et nouveau, mais je continue ces études, et j'espère ne pas tarder à publier celle-là.

J'étudie la même influence dans d'autres liquides, dans les solides, et même dans les gaz ; certains sels récemment chauffés ou fondus ne produisent plus les mêmes abaissements de température (positifs ou négatifs) que lorsqu'ils ont été conservés. A mesure de l'observation des faits de nature à intéresser la Société, j'aurai l'honneur de les communiquer.

Mais une première conséquence découle de ces faits d'une manière si frappante que j'ai dû la soumettre immédiatement à l'Académie ; j'ai le devoir d'attirer aussi sur elle l'attention de la Société.

Depuis de nombreuses années, les chimistes et les physiciens recherchent avec ardeur les données numériques relatives aux dégagements de chaleur produits par les actions chimiques. La mesure des *chimi-calories* (c'est le nom que je leur donne) est un élément des plus importants pour résoudre le problème capital de l'action chimique en général. Cette étude a été faite jusqu'à présent dans la pensée d'une stabilité moléculaire tout à fait invariable pour les liquides.

Cette pensée était inexacte, comme le prouvent mes recherches.

Aucun des savants qui ont particulièrement étudié l'acide sulfurique n'a eu connaissance du fait si extraordinaire dont je viens de parler. Leurs études sont à revoir, par conséquent, en tenant compte d'une variabilité d'état moléculaire si imprévue.

Il en est de même de toutes les autres études sur le même sujet.

Cette révision est d'autant plus nécessaire que l'on peut soupçonner, sans témérité aucune, la transmission peut-être momentanée de l'état moléculaire d'un acide dans les combinaisons auxquelles il donne naissance.

Dans les gaz ou les vapeurs, j'ai des raisons de croire à une variabilité moléculaire analogue : mes expériences sont trop incomplètes pour indiquer, dès à présent, même un seul résultat. Il me suffira de dire que le chlore insolé dont les propriétés diffèrent de celles du chlore produit dans l'obscurité (*aphotogénique*) tient sa différence plutôt de la chaleur que de la lumière. — Je n'insiste pas. — Je ferai seulement remarquer le rôle important de cette considération nouvelle dans l'explication des phénomènes de dissociation et des conséquences qu'on en veut tirer dans l'utile discussion soutenue ces jours mêmes par MM. Deville, Wurtz et Berthelot sur la constitution des corps déduits de leurs volumes gazeux.

J'espère donner bientôt des éléments pour résoudre cette autre question si importante.

C'est vraisemblablement à un effet de ce genre qu'est dû le phénomène observé par I. Pierre et Puchot dans la distillation de l'alcool mêlé de *bioxyde de diène* (aldéhyde).

« Lorsqu'on vient de recueillir par distillation les produits alcooliques plus ou moins chargés d'aldéhyde et bouillant entre 65° et 75°, si l'on abandonne ces produits à eux-mêmes pendant quelque temps, ils éprouvent habituellement un réchauffement spontané qui se traduit par une élévation de température pouvant aller jusqu'à 15° ou 20° ou même 25°. » On observe ce réchauffement même dans des produits condensés dans la glace ou dans un mélange réfrigérant ([1]).

Le bioxyde de diène qui vient d'être *surchauffé,* puisqu'on l'extrait d'un liquide bouillant à 75°, conserve une certaine quantité de chaleur, comme l'acide sulfurique, et lorsque le mélange avec l'alcool se réchauffe, voici, d'après moi, ce qui arrive : le bioxyde chauffé est probablement dans un état moléculaire différent de celui qui lui appartient quand il est *depuis longtemps* aux températures ordinaires ; sous l'influence de l'alcool, il est très-vivement sollicité à une union chimique, parce que son équivalent 44 est presque égal à celui de l'alcool 46, raison déterminante indiquée par ma théorie générale de l'action chimique. Pour obéir à cette sollicitation, le bioxyde revient en quelques instants à son état

(1) *Annales de Chimie et de Physique,* t. XXII, p. 249.

ordinaire et dégage la chaleur dont il avait été enrichi par le chauffage.

Les auteurs ont attribué le réchauffement à une autre cause, mais avec la plus grande réserve et des doutes formels. On voit qu'ils étaient bien inspirés.

Lettre de M. Berthelot au sujet de la Communication précédente.

« MONSIEUR LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL,

» Ayant eu connaissance de la Communication faite par M. Maumené à la Société de Physique, je vous serai obligé de vouloir bien insérer à la suite la Note que j'ai publiée sur le même sujet dans les *Comptes rendus*, Note par laquelle j'établis, à l'aide d'expériences calorimétriques précises :

» 1° Que l'acide sulfurique récemment chauffé dégage avec l'eau précisément la même quantité de chaleur que le même acide conservé pendant plusieurs mois;

» 2° Qu'il existe en Thermochimie une méthode générale propre à tenir compte des changements lents développés dans les corps liquides, solides ou gazeux, méthode qui consiste à les transformer dans un nouveau système dont l'état final soit identique. J'ai fait depuis dix ans de nombreuses applications de cette méthode, notamment : à la stabilité de l'acide sulfurique, qui m'avait préoccupé dès 1871 et qui me paraît complète; à celle des solutions des sels ferriques, qui changent, au contraire, avec le temps; à celle du chlore gazeux, qui n'offre aucune différence appréciable, soit avant, soit après l'action de la lumière; résultat que j'ai établi par des mesures précises, contrairement à une opinion très-répandue, mais fondée sur des observations incomplètes, etc., etc. La lacune signalée dans la Science par M. Maumené n'existe donc pas.

» Veuillez agréer, etc.

» M. BERTHELOT. »

Remarques sur les quantités de chaleur dégagées par le mélange de l'eau avec l'acide sulfurique; par M. M. Berthelot.

Les propriétés de l'acide sulfurique sont toujours les mêmes, et il dégage des quantités de chaleur identiques, soit qu'il ait été récemment chauffé, soit qu'il ait été conservé depuis un temps considérable. J'ai constaté ce fait avec précision à deux reprises, en 1871 et 1874, ayant été conduit à l'examiner dans le cours d'autres recherches. Pour m'en référer à des mesures calorimétriques rigoureuses, sans l'appui desquelles il ne convient pas de parler de semblables questions, voici les nombres que j'ai obtenus en faisant agir 1 partie d'acide sulfurique bouilli (lequel renfermait à peu près $\frac{98}{100}$ d'acide réel) sur 70 parties d'eau :

			cal
Acide conservé depuis plusieurs années, a dégagé à		22°...	168,2
Acide conservé depuis un mois,	»	20 ...	167,0
Acide chauffé tout récemment à l'ébullition,	»	17 ...	166,6

Les différences entre ces nombres sont très-petites; elles seraient encore atténuées si l'on rapportait les résultats à une même température, soit, pour 22°,

168,2; 167,7; 168,3.

J'ai constaté, en outre, que les dissolutions ainsi obtenues dégagent, en s'unissant avec les bases, exactement la même quantité de chaleur, que l'acide ait été récemment chauffé et récemment dissous, ou sa dissolution conservée depuis un temps très-long.

$$SO^4H(49^{gr} = 2^{lit}) + AzH^3(17^{gr} = 1^{lit}),$$

à 22°, ont dégagé :

	cal
Acide récemment chauffé et récemment dissous....	+14,56
Acide dissous depuis douze ans.................	+14,54

Les expériences que je viens de citer sont l'application d'une méthode employée en Thermochimie pour étudier les transformations lentes qui se produisent, sous l'influence du temps ou de la

chaleur, dans les corps solides, liquides ou gazeux, telles que la destruction spontanée de l'ozone gazeux, les changements produits soit par le temps, soit par la chaleur des sels ferriques dissous ([1]), la métamorphose progressive du bisulfate de potasse anhydre dans ses dissolutions ([2]), la séparation spontanée du phosphate d'ammoniaque tribasique dissous en phosphate bibasique et ammoniaque libre ([3]), les changements progressifs des précipités, ceux d'un corps récemment fondu et solidifié, pareil à l'hydrate de choral, etc. ([4]). Cette méthode, dont la portée et la rigueur ne semblent pas encore suffisamment connues, consiste à ramener les divers systèmes dont on étudie les changements à un même état final, strictement défini et démontré identique par des mesures thermiques.

SÉANCE DU 2 AOUT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 juillet est lu et adopté.

M. Daguin, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse, est élu membre de la Société.

M. Mascart présente à la Société deux exemplaires de la machine électrique de M. Teploff, dont l'un a été construit par M. Ducretet. Cette machine est remarquable par la singularité des aigrettes et des étincelles des flammes colorées qu'elle permet d'obtenir, quand on intercale une résistance variable, mais toujours très-grande, soit entre les armatures extérieures, soit entre les armatures intérieures des deux bouteilles de Leyde intercalées dans le circuit. La machine est à trois plateaux, un plateau fixe muni de larges armatures de papier qui embrassent chacune plus de 90°,

---

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXX, p. 171 et suivantes.
([2]) *Ibid.*, p. 444.
([3]) *Ibid.*, 5e série, t. IX, p. 29.
([4]) *Comptes rendus*, t. LXXXV, p. 648.

et deux plateaux mobiles; elle présente, en outre, deux conducteurs diamétraux placés suivant deux cordes parallèles.

M. Marcel Deprez décrit le microtasimètre d'Edison. Cet appareil sert à mesurer la dilatation d'une barre métallique au moyen de la variation produite dans l'intensité d'un courant qui traverse une plaque de charbon appuyée contre l'extrémité de la barre. On déplace une vis micrométrique appuyant à l'autre extrémité de la barre jusqu'à amener le courant à une intensité constante, mesurée au moyen du pont de Wheatstone. Quand on approche la main à $0^{m},10$ de cet appareil, on constate une déviation sensible du galvanomètre.

M. Marcel Deprez annonce qu'il a disposé un moteur électrique d'une constance remarquable; la vitesse de rotation paraît très-sensiblement indépendante de la force électromotrice employée.

Il présente à la Société, au nom de M. le Dr Paquelin, une nouvelle application des foyers calorifiques en platine alimentés par la combustion du pétrole. C'est un fer à souder que l'on échauffe en quelques instants au moyen d'un foyer intérieur en forme de tronc de cône de 8^{mm} de diamètre, et de 5 à 6^{mm} de long. Ce simple foyer produit 300^{cal} à 400^{cal} par heure, c'est-à-dire équivaut à $\frac{1}{11}$ de cheval-vapeur environ.

M. Niaudet décrit et fait fonctionner plusieurs modèles de la pile thermo-électrique de Noé, disposés par M. Hauck, de Vienne.

Piles thermo-électriques de Noé; par M. A. Niaudet.

M. Hauck, fabricant d'instruments de Physique à Vienne (Autriche), a exposé, au Champ-de-Mars, plusieurs piles, de différentes dimensions, du système de M. Noé.

Ces éléments sont formés par l'association de deux alliages : le maillechort, qui est employé sous forme de fils, qu'on voit au nombre de quatre partant de chaque soudure (*fig.* 1), et de l'autre métal, à base d'antimoine, qui est fondu, comme nous allons l'expliquer. La soudure chauffée présente une petite capsule de laiton, du centre de laquelle se projette une tige de cuivre rouge

qui est destinée à recevoir directement la chaleur de la flamme dans laquelle elle est plongée.

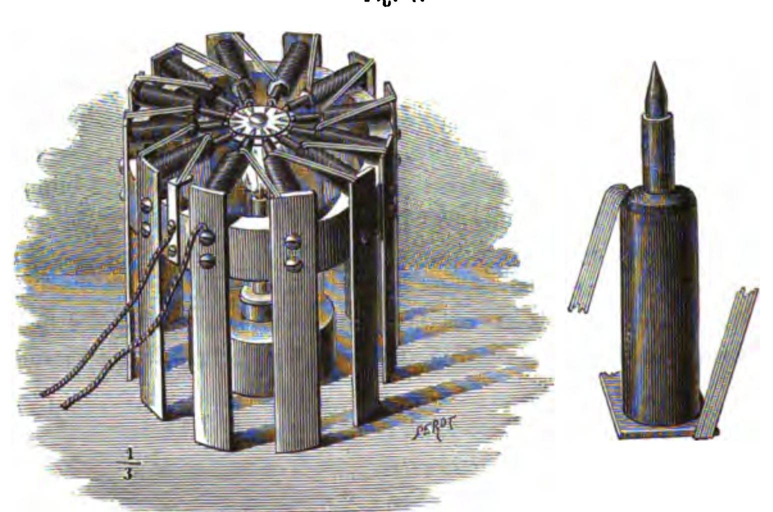
Pour construire l'élément, on met au fond d'un moule convenable la capsule de laiton dont je viens de parler, et dans laquelle pénètrent :

1° Au centre, la tige ou goupille de cuivre;

2° Latéralement, les quatre fils de maillechort.

On verse le second alliage dans le moule, et, par suite, la soudure avec le maillechort est faite sans interposition d'un corps étranger, comme l'étain; le métal le moins fusible est saisi dans l'autre pendant qu'il est fondu.

Fig. 1.



En même temps, la tige de cuivre qui va servir à l'échauffement est saisie dans le métal fondu et forme un tout avec le reste.

La seconde soudure n'est pas faite avec les mêmes soins : elle est faite simplement à l'étain.

Pour la première, il y a avantage évident à pouvoir porter la température jusque près de la fusion de l'alliage à base d'antimoine, température supérieure à celle de la fusion de la soudure à l'étain.

Pour la seconde, au contraire, qui doit être maintenue froide, cette condition ne se présente pas. Pour faciliter le refroidisse-

ment, on soude, avec les deux métaux qui constituent la pile, une ou plusieurs feuilles minces de cuivre ou simplement de laiton, qui présentent une grande surface et peuvent être maintenues froides, soit simplement par la circulation de l'air, soit par un bain d'eau dans lequel on les plonge.

Ces éléments ont une force électromotrice égale à $\frac{1}{16}$ de Daniell pour une température de la soudure chaude qui n'atteint pas le rouge, c'est-à-dire pour une chaleur qui ne donne même pas, aux goupilles de cuivre dont j'ai parlé, la température rouge.

La résistance est actuellement de $\frac{1}{40}$ d'unité par élément.

La grande pile de 136 éléments est pourvue d'un pachytrope, appareil d'une extrême simplicité et d'une très-heureuse disposition, avec lequel on peut associer les couples, soit en une seule série de 136 couples, soit en deux de 68 en tension, soit en quatre de 34 en tension, certaines expériences réussissant mieux avec une combinaison, certaines autres avec une autre.

SÉANCE DU 16 AOUT 1878.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 août est lu et adopté.

M. Zahm (J.-A.), professeur de Physique à l'Université Notre-Dame, à Indiana (Etats-Unis), est élu membre de la Société.

M. A. Bréguet présente une théorie de la machine de Gramme, employée comme machine motrice.

M. Lippmann expose le résultat de ses expériences sur la polarisation des électrodes.

M. Marcel Deprez fait fonctionner, devant la Société, des machines motrices magnéto-électriques dont le mouvement est rendu absolument régulier au moyen d'un régulateur spécial.

M. Righi présente un nouveau téléphone avec lequel il fait plusieurs expériences, et toute la salle peut entendre facilement les paroles ou le son d'une flûte et d'un cornet à piston, provenant d'une pièce éloignée.

Sur la théorie de la machine de Gramme; par M. A. Bréguet.

La machine de Gramme est réversible. La rotation de sa bobine donne naissance à un courant électrique, et réciproquement, si un courant traverse la bobine, cette dernière se mettra à tourner autour de son axe. En raison de cette réversibilité si complète, toute théorie acceptable de la machine prise comme électromoteur doit pouvoir se retourner de toutes pièces pour expliquer la machine comme source de courant. Il est impossible d'admettre, en effet, qu'on ait besoin de deux théories différentes pour ces deux fonctions inverses.

La machine que présenta Faraday (1831), et que remit en lumière M. Le Roux dans ces dernières années, n'est que la roue de Barlow sans modifications sensibles; mais, en 1871, M. Gramme fit connaître la machine qui porte aujourd'hui son nom et qui est remarquable par la valeur de son rendement économique et sa substitution facile aux piles de toute espèce.

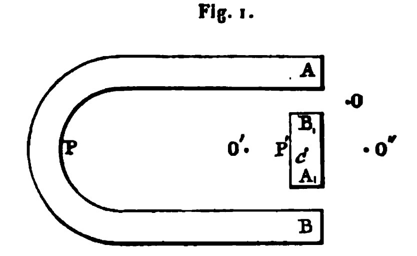
Les machines de Barlow et de Faraday donnent bien naissance à un courant continu de même signe, sous l'influence d'une rotation continue et de même sens; mais ce courant n'est produit que dans un seul conducteur. Sa tension ne dépend donc que de l'intensité du champ magnétique et de la vitesse de rotation, qui ne peuvent acquérir, dans la pratique, que des valeurs insuffisantes à la production d'un courant utilisable. On conçoit que, si plusieurs machines de Faraday étaient associées par leurs pôles de noms contraires, le courant posséderait une tension proportionnelle au nombre de ces machines; mais ce serait là une solution peu élégante et qui exigerait autant de frotteurs qu'il y aurait de machines.

Je me propose de montrer comment la machine de Gramme réalise une solution des plus ingénieuses de ce même problème.

La roue de Barlow est une consécration expérimentale de ce fait qu'un conducteur mobile, situé dans un champ magnétique et traversé par un courant, est sollicité à prendre une position d'équilibre déterminée. Analysons cette expérience sous une forme plus rapprochée de celle que lui a donnée M. Gramme.

Soient deux aimants P et P′ (*fig.* 1), opposés par leurs pôles contraires, ou, pour plus de généralité, soient un aimant P et une pièce de fer doux P′, dans laquelle les pôles A_1 et B_1 sont développés par l'influence de l'aimant P. Soit un fil conducteur perpendiculaire au plan des aimants, et qui se projette sur la figure en O. S'il est mobile autour de l'axe C et s'il est parcouru par le courant d'une pile, l'influence des pôles A et B_1 déterminera, d'après les lois d'Ampère, son rapprochement ou son éloignement suivant le sens du courant. Si le courant marche d'avant en arrière, par rapport au papier, le conducteur sera sollicité à traverser la région interpolaire AB_1 et continuera son mouvement jusqu'à se trou-

Fig. 1.



ver en O′, à égale distance des quatre pôles A, B, A_1, B_1. Pour que le mouvement du fil se continue dans le même sens, le signe du courant excitateur doit donc changer à partir de cette position d'équilibre; alors le fil sera attiré par la région magnétique BA_1, traversera cette région dans sa partie la plus intense, et sera ensuite repoussé par elle jusqu'à la nouvelle position d'équilibre O″, symétrique de O′. Il faudrait donc, pour obtenir un déplacement continu du fil, changer le sens du courant excitateur, à l'aide de commutateurs, aux instants précis où le fil se trouve à égale distance des pôles, c'est-à-dire dans la région où l'action réciproque de l'aimant et du courant est nulle.

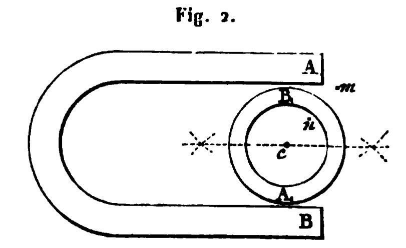
Les frotteurs employés par M. Gramme réalisent cette commutation de la manière la plus heureuse.

Dans la bobine de Gramme, la portion de spire *m* (*fig.* 2), comprise entre l'anneau de fer et le pôle de l'aimant, n'est autre chose qu'un conducteur mobile situé dans un champ magnétique. Quant à la portion *n* du fil qui complète la spire, en s'appliquant contre la surface interne de l'anneau, il est facile de voir que son action

est nulle, puisqu'elle se trouve à l'abri de toute influence magnétique, l'anneau jouant le rôle d'écran pour tout point situé dans son intérieur.

Si la bobine est traversée par un courant, ce courant lui arrivera par les frotteurs, et pénétrera d'un côté par le fil d'entrée d'une spire et de l'autre par le fil de sortie de la spire voisine. (Les frotteurs sont situés de part et d'autre de l'axe C, sur la droite XX.) Les deux moitiés de la bobine, situées de part et d'autre du plan de l'axe de rotation et des points de contact des frotteurs, seront

Fig. 2.



ainsi parcourues par des courants qui seront respectivement de sens contraires. Deux spires diamétralement opposées seront ainsi sollicitées à se mouvoir dans des directions contraires; la bobine est donc soumise à l'action d'un couple qui déterminera sa rotation. Chaque paire de spires opposées fournit un couple du même genre, en sorte que, tant que la résistance de quelques spires ne diminue pas sensiblement l'intensité du courant, il y aura avantage à augmenter leur nombre pour augmenter le moment du couple résultant.

Je crois avoir ainsi expliqué comment fonctionne la machine de Gramme comme électro-moteur. L'expérience fondamentale sur laquelle repose cette théorie étant réversible, il est inutile de chercher à expliquer la fonction inverse de la machine : c'est une conséquence nécessaire de la première.

Je n'ai pas supposé, dans ce qui précède, que l'anneau de fer doux partageât le mouvement de la bobine, comme cela a lieu dans la machine de Gramme. C'est que, en effet, ce mouvement de l'anneau est parfaitement inutile. Il n'a été commandé, dans la pratique, que pour de plus grandes facilités de construction.

Sur la propriété dépolarisante des dissolutions métalliques; par M. G. Lippmann.

La propriété dépolarisante des dissolutions de cuivre a été appliquée par Becquerel, dès 1829, à la construction du premier élément à courant constant. La propriété analogue des sels de zinc, de cadmium, etc., a reçu depuis lors diverses applications. Les expériences que je vais décrire ont montré que cette propriété dépolarisante d'une dissolution métallique est limitée au méta' même qu'elle contient. Ainsi, une dissolution de cuivre ne dépolarise pas une électrode de platine : elle ne dépolarise que le cuivre. De même une dissolution de zinc ne dépolarise ni le cuivre ni le platine : elle ne dépolarise que le zinc. Je n'ai expérimenté que sur la polarisation ou la dépolarisation de l'électrode *négative*.

La disposition de ces expériences a été la suivante. Un fil du métal à essayer A plonge dans une dissolution métallique. Il sert d'électrode négative, d'électrode de sortie, à un courant de pile qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté et qui est amené dans le liquide par une électrode auxiliaire B. Le fil A est en communication permanente avec la colonne de mercure d'un électromètre capillaire, dont l'autre pôle communique avec un fil A′ du même métal plongeant dans le liquide. Ce fil A′, qui n'est traversé par aucun courant, sert uniquement à mesurer, par comparaison, les variations de force électromotrice subies par le fil A. Tant que l'on n'a pas fermé le courant, les fils A et A′ sont égaux, et l'électromètre reste au zéro. Lorsque, au contraire, on a fait passer un instant le courant et que A s'est polarisé, l'électromètre est et reste dévié après l'ouverture du zéro; il ne revient au zéro que lentement, au fur et à mesure que la force électromotrice de polarisation se dissipe avec le temps.

Si le liquide en expérience est une dissolution de sulfate de zinc, et si les fils A, A′ sont en cuivre, on constate que, si l'on a fermé un instant le courant de la pile, l'électromètre est et reste dévié, accusant ainsi la polarisation subie par le fil de cuivre A dans la dissolution de zinc. Vient-on à ajouter au liquide quelques gouttes de sulfate de cuivre, la déviation de l'électromètre dispa-

raît; le mercure reste au zéro, montrant ainsi que la présence de ces quelques gouttes de sel de cuivre empêche le fil de cuivre de se polariser. On constate, de la même manière, que le cuivre se polarise dans les sels de zinc, de cobalt, de nickel et dans un mélange de ces sels aussi bien que dans l'acide sulfurique étendu. Les sels de cuivre seuls dépolarisent le cuivre. L'expérience est d'ailleurs très-nette, car, dans des dissolutions même concentrées d'un sel de zinc, de cobalt, etc., ou dans un mélange de ces dissolutions concentrées, la polarisation du cuivre est instantanée, durable et si forte, que le mercure de l'électromètre disparaît du champ; par contre, l'addition d'une quantité minime de sulfate de cuivre (moins de $\frac{1}{1000}$) non-seulement ramène aussitôt l'électromètre au zéro, mais fait qu'en fermant de nouveau le courant on voit l'électromètre rester au zéro.

En substituant des fils d'argent aux fils de cuivre, on constate de même que l'argent se polarise dans les sels de zinc, de cobalt, de nickel, de cuivre, et ne se dépolarise que dans un sel d'argent: une trace de sel d'argent dépolarise un fil d'argent au sein d'une dissolution concentrée de sels étrangers.

Ces expériences ont donné des résultats analogues pour tous les métaux qui ont été essayés, à savoir, pour le zinc, le cobalt, le nickel, le cuivre, le mercure, l'argent, le platine et l'or, et pour les dissolutions de ces métaux. La polarisation du métal dans un liquide qui ne le tient pas en dissolution est toujours très-considérable : elle atteint toujours une fraction notable d'un Daniell. La dépolarisation produite par la présence d'un sel du même métal accuse des traces de ce sel, du moins dans le cas du zinc, du cobalt, du cuivre, de l'argent, du mercure. Le nickel laissé quelque temps à l'air ou en contact avec son sulfate paraît s'altérer à la surface; il se comporte alors, en présence de son propre sel, comme un métal étranger. Il est nécessaire de le préparer par voie galvanoplastique au moment de s'en servir; il rentre alors dans la loi générale. L'or et le platine paraissent peu sensibles à la présence de leurs propres sels; peut-être est-il nécessaire, comme pour le nickel, de les avoir préparés récemment.

Quoi qu'il en soit pour ces deux derniers corps, on voit que pour plusieurs autres métaux la dépolarisation constitue une sorte de réaction qui indique, d'une façon sensible et non équivoque,

la présence d'un sel de ces métaux dans un mélange de sels étrangers. On peut donc employer, dans plusieurs cas, cette réaction électrique à la recherche d'un métal, comme un auxiliaire commode de l'analyse chimique. La présence de chaque sel métallique est caractérisée par la dépolarisation du métal correspondant. On fixe les trois fils A, A′, B, faits du métal que l'on recherche, à une baguette isolante, de façon à en former un petit équipage que l'on porte dans le liquide à essayer. Veut-on savoir si ce liquide contient, par exemple, du cuivre, les fils A, A′, B sont alors en cuivre. On observe l'électromètre : s'il reste au zéro, c'est que le liquide contient un sel de cuivre; s'il diverge, c'est que le liquide ne contient pas de sel de cuivre. On décèle ainsi sûrement $\frac{1}{5000}$ de sulfate de cuivre. On recherchera de même l'argent avec des fils d'argent, etc.

Si l'on n'a pas d'électromètre à sa disposition, on pourra substituer à cet instrument un galvanomètre à long fil. Le galvanomètre ne mesure pas la force électromotrice de polarisation; mais la déviation de l'aiguille suffit pour indiquer la polarisation, son maintien à zéro la dépolarisation.

On sait que l'on ne peut pas mettre impunément un métal quelconque dans une dissolution quelconque. Ainsi, on ne peut pas plonger un fil de cuivre dans une dissolution d'argent sans qu'il se forme une dissolution de cuivre et un dépôt d'argent. Si donc on tenait à employer la réaction électrique indiquée plus haut à la recherche méthodique des métaux, il faudrait procéder dans un ordre convenable : commencer par rechercher les métaux nobles, et éliminer ces métaux de la liqueur avant de rechercher des métaux capables de précipiter les premiers.

Peut-on expliquer, d'une manière simple, cette propriété que possède un métal de se polariser dans la dissolution d'un métal différent? On pourrait penser d'abord que la polarisation est due à la formation, sur l'électrode employée, d'un dépôt galvanique du métal contenu dans la dissolution, dépôt qui serait invisible, mais dont l'action électromotrice se ferait néanmoins sentir. Ainsi, la polarisation du platine dans le sulfate de cuivre serait due à un dépôt invisible de cuivre sur le platine.

Cette explication, qui prête d'ailleurs à diverses objections, n'est pas d'accord avec les deux expériences que je vais décrire : 1° Une

lame de platine et une lame de cuivre, plongées dans une même dissolution de sulfate de cuivre, forment un élément de pile dont le platine est l'élément positif. En fermant le circuit par le fil d'un galvanomètre, on constate qu'il se produit un courant, courant de courte durée et qui est bientôt arrêté par la polarisation du platine : c'est même un moyen simple de montrer cette polarisation. Le platine a alors atteint la force électromotrice du cuivre. Or, on peut aller encore plus loin; on peut, au moyen d'une pile auxiliaire, polariser davantage le platine, de manière à le rendre plus négatif (de $\frac{1}{14}$ Daniell) que le cuivre. Il faudrait donc admettre que le dépôt, s'il en existe un, est formé d'une substance plus négative, plus oxydable que le cuivre. — 2° On sait que, si l'on polarise une lame de platine dans de l'eau acidulée sur une de ses faces seulement, la seconde face de la lame ne tarde pas à subir à son tour une polarisation qui croît peu à peu, bien que cette seconde face ne touche pas la masse liquide où la première s'est polarisée. On a expliqué cette expérience en admettant que « l'hydrogène de polarisation » se diffuse à travers le platine. Or, si au lieu d'eau acidulée on prend du sulfate de cuivre, l'expérience réussit également bien. Si l'on peut admettre que de l'hydrogène se diffuse rapidement, même à froid, à travers le platine, il est difficile d'étendre cette explication à un dépôt de cuivre. Cela est difficile, surtout lorsqu'on a examiné au microscope la structure d'un tel dépôt au moment où il se produit réellement. Si l'on opère avec précaution de manière à saisir le moment où le dépôt apparaît, on constate qu'il a, à l'œil nu, l'apparence d'une buée rose ; au microscope, on le voit formé de masses distinctes de cuivre, entièrement séparées les unes des autres, et ayant chacune la forme d'une pyramide à base rectangulaire, c'est-à-dire d'un demi-octaèdre régulier ([1]).

La polarisation d'une électrode négative de métal dans la dissolution d'un métal étranger ne pouvait pas être prévue par la con-

---

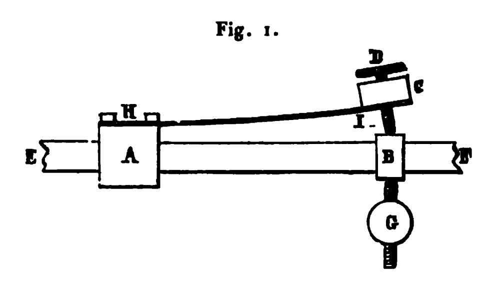
([1]) Lorsqu'un corps se forme par électrolyse, la formation de la première parcelle de ce corps donne lieu à des phénomènes analogues à ceux du retard de l'ébullition, de la sursaturation, etc., et sur lesquels je reviendrai ailleurs. Je me contenterai de dire que la première parcelle du corps nouveau apparaît brusquement, d'une manière explosive, si c'est un gaz; ensuite elle s'accroît par le courant d'une manière continue.

sidération du travail chimique que le courant qui polarise l'électrode tend à produire. Mettons une lame de platine et une lame de cuivre dans du sulfate de cuivre, et faisons passer un courant électrique qui entre par le cuivre et sorte par le platine; ce courant ne peut que déposer sur le platine du cuivre, tandis qu'il dissout à l'électrode de cuivre précisément la même quantité de cuivre. Il n'y a donc enfin qu'un simple transport de cuivre d'une lame à l'autre; le travail chimique proprement dit est nul, tandis que, au contraire, la force électromotrice de polarisation développée sur le platine est de l'ordre d'un Daniell. Le travail électrique dépensé pour produire la polarisation est donc emmagasiné, non sous forme d'énergie chimique, mais sous forme d'énergie électrique, comme dans un condensateur.

Nouveau régulateur de vitesse; par M. Marcel Deprez.

Ce régulateur est surtout applicable aux moteurs électriques. Il se compose essentiellement d'une lame élastique IH (*fig.* 1), fixée à l'une de ses extrémités H sur l'axe EF, qui est entraîné dans le mouvement de rotation du moteur, et dont l'autre extrémité I porte une petite masse métallique C traversée par une vis D qui s'appuie

Fig. 1.



sur un butoir B. En tournant la vis D, on peut donc donner à la lame IH une tension plus ou moins considérable, qui aura pour effet d'appuyer l'extrémité de la vis D sur le butoir B. Si l'axe EF est animé d'un mouvement de rotation, la force centrifuge développée sur la masse C aura pour effet de diminuer la pression exercée contre le butoir B par la vis D, et pour une certaine vi-

tesse angulaire ω, dont la valeur est facile à déterminer, cette pression sera nulle. Si la vitesse angulaire dépassait cette valeur ω d'une quantité très-petite, la vis cesserait de toucher le butoir B. Cela étant, supposons que le moteur qui met en mouvement l'axe EF soit un moteur électrique, et que le courant qui l'anime soit obligé de passer de A en B par la lame IH, les pièces A et B étant isolées de l'axe EF.

Tant que la vitesse de l'axe EF sera inférieure à ω, le courant pourra passer et la vitesse du moteur ira en augmentant, en supposant toutefois, ce qui est une condition indispensable, que ce courant possède une intensité supérieure à celle qui est nécessaire pour imprimer au moteur une vitesse ω. Au moment où la vitesse passera par la valeur ω, la pression de la vis D sur le butoir B sera nulle, mais le courant pourra encore passer. Mais, si la vitesse dépasse infiniment peu ω, l'extrémité de la vis D cessera de toucher B et le courant sera interrompu. La vitesse commencera alors évidemment à décroître; mais, dès qu'elle aura décru d'une quantité extrêmement petite, le contact sera rétabli et le courant passera de nouveau. On voit donc que la vitesse du moteur oscillera perpétuellement entre deux limites excessivement rapprochées. On peut se faire une idée des variations de vitesse tolérées par cet appareil au moyen des considérations suivantes. Appelons f la pression exercée par la vis D sur le butoir B, ω la vitesse angulaire à laquelle doit tourner l'axe EF pour que cette pression soit exactement équilibrée par la force centrifuge, m la masse de la vis et du petit bloc de métal C (la masse du ressort étant négligée), et r la distance du centre de gravité de l'ensemble de ces deux pièces au centre de l'axe EF. Nous aurons $f = m\omega^2 r$, et, si nous désignons par df l'accroissement de pression nécessaire pour assurer complétement le passage du courant, accroissement qui nécessitera une diminution de vitesse $d\omega$, nous aurons $df = -2m\omega r d\omega$, d'où l'on tire successivement $d\omega = -\dfrac{df}{2m\omega r}$ et $\dfrac{d\omega}{\omega} = -\dfrac{df}{2m\omega^2 r}$; mais $\dfrac{d\omega}{\omega}$ n'est autre que la variation *relative* de la vitesse ω. On voit que cette variation relative sera d'autant plus petite, pour une même valeur de df, que $m\omega^2 r$ sera plus considérable.

De la première équation on conclut $\omega = \sqrt{\frac{f}{mr}}$; il est donc très-facile de faire varier la vitesse ω en faisant varier l'une des trois quantités f, m ou r. Le procédé le plus simple est évidemment de faire varier f en tournant plus ou moins la vis D.

Si l'ensemble du ressort IH et de la masse C n'était pas équilibré, il en résulterait des trépidations qui troubleraient le fonctionnement du régulateur. Pour éviter cet inconvénient, on a placé à l'opposé de la masse C une autre masse G mobile le long d'une vis H permettant de placer la masse G à une distance convenable de l'axe EF.

Les avantages de ce régulateur sont les suivants :

1° Très-grande simplicité de construction;

2° Absence totale d'articulations et, par suite, de frottements perturbateurs;

3° Absence de conditions relatives à la distribution des masses qui le composent, tandis que les régulateurs qui passent pour les plus parfaits sont composés de masses tournantes dont les ellipsoïdes d'inertie doivent satisfaire à des conditions déterminées;

4° Action absolument instantanée, ayant pour effet d'éviter le phénomène connu sous le nom *d'oscillations à longue période,* qui se produit toujours avec les régulateurs dits *isochrones.*

J'ajouterai que j'ai trouvé le moyen de l'appliquer à toute espèce de moteur non électrique et de faire varier la vitesse de régime pendant la marche même; mais la description de ces dispositifs sortirait de mon cadre actuel. Je me bornerai à donner, en terminant, un tableau d'expériences faites sur un moteur électrique muni de ce régulateur, et dans lesquelles on mesurait avec un pointeur automatique la durée de 3000 révolutions de l'arbre porteur de l'électro-aimant. Afin de montrer que les variations d'intensité du courant n'avaient pas d'influence, on a expérimenté d'abord avec une pile de 2 éléments, puis avec une pile de 4 éléments.

	Durée de 3000 révolutions	
	avec 2 éléments.	avec 4 éléments.
	96,9	96,8
	97,0	96,9
A reporter.	193,9	193,7

	Durée de 3000 révolutions	
	avec 2 éléments.	avec 4 éléments.
Reports...	193,9	193,7
	96,9	96,9
	96,8	97,0
	97,0	97,0
	96,8	97,0
	96,6	96,9
	97,0	97,1
	96,8	97,0
	97,0	97,0
	96,8	97,0
	96,7	97,2
	96,9	97,0
	97,0	97,0
	96,8	97,0
	96,8	97,1
	96,8	97,2
	1646,6	1649,1

Durée de 51 000 tours avec 2 éléments...	1646,6	
» » 4 éléments...	1649,1	
	2,5	

Différence relative : $\frac{1}{660}$ de vitesse.

Nouveau téléphone; par M. Righi.

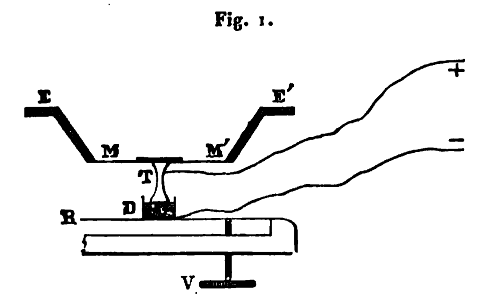
Ce téléphone se compose de deux parties distinctes : le *transmetteur* et le *récepteur*.

Celui-ci est, à peu de chose près, le téléphone Bell ; il en diffère seulement parce que l'aimant est de plus grandes dimensions, et la rondelle de fer est fixée au milieu d'une membrane de papier parchemin tendue au fond d'un entonnoir, à peu près comme dans les premiers instruments de Bell, sauf la dimension.

Le transmetteur (*fig.* 1) a pour partie essentielle un corps élastique, qui peut être une planchette de bois, une lame métallique ou une membrane tendue MM'. Comme dans les téléphones

à charbon, les vibrations du corps vibrant produisent des variations de pression dans un certain conducteur. Ici, ce n'est ni du charbon, ni du graphite, ni tout autre corps solide. C'est, au contraire, un corps en poudre très-fine, qui est plus ou moins comprimé au moyen d'une pièce métallique T fixée sur la lame vibrante. On peut faire usage de cuivre, d'argent, de fer, de plombagine de charbon, ou, ce qui semble préférable, d'un mélange de plombagine et argent. Quel que soit le corps en poudre dont on fait usage, il est contenu dans un dé métallique D porté par un ressort R pressé plus ou moins par une vis V. Le courant d'une pile passe par la poudre et par le fil du récepteur, et ce sont les variations de

Fig. 1.



conductibilité de la poudre, dues aux vibrations de la pièce qui la touche, qui font varier l'intensité du courant et reproduisent les sons.

La différence entre les effets de ce transmetteur et ceux des téléphones à charbon sont surtout : 1° l'intensité plus grande des sons; 2° l'absence de bruits et de chocs dans la reproduction des mots. Dans les téléphones à charbon ou à graphite, ces bruits sont dus à des parcelles qui se détachent de ces corps, qui sont toujours friables.

Si l'on fait usage de deux éléments Bunsen, on obtient les effets suivants. Les sons d'une trompette ou d'un autre instrument de musique sont reproduits avec leur timbre, avec une intensité suffisante pour qu'on les entende dans toute une pièce pouvant contenir deux ou trois cents personnes. En parlant à voix naturelle, les mots peuvent être entendus à 2^m du récepteur.

On peut augmenter indéfiniment les sons reproduits, soit en faisant usage de piles énergiques, soit en multipliant les transmet-

teurs et les récepteurs. Toute sorte de pile peut convenir à l'appareil; mais il faut disposer les couples de manière à avoir peu de résistance intérieure dans la pile.

La première expérience a été faite avec cet appareil, le 14 mars de cette année, devant l'Académie des Sciences de Bologne.

SÉANCE DU 6 SEPTEMBRE 1878.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 août est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Germain (Pierre), employé des télégraphes à Clermont-Ferrand; Lamansky, professeur à l'Université de Varsovie (Russie); Lespiault, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux; Ollivier (A.), ingénieur civil, à Paris; Sebert, commandant de marine, à Paris; Wladimirsky (Alexis), professeur de physique à l'École impériale technique de Moscou (Russie).

M. Trouvé présente un nouveau moteur électromagnétique à force constance et à puissance illimitée. Il termine sa communication en établissant une analogie entre le mode d'action de son moteur et une théorie, déjà ancienne, du mécanisme de la contraction musculaire.

M. Niaudet présente, au nom de M. Barlow, un nouvel instrument nommé *logographe,* qui permet d'obtenir l'enregistrement des forces pneumatiques mises en jeu dans les articulations de la voix humaine. M. Barlow fait fonctionner son appareil.

M. Sedley Taylor décrit et fait quelques expériences avec un instrument destiné à représenter optiquement les particularités délicates du mouvement vibratoire sonore et qu'il nomme *phonéidoscope.*

Moteur à force constante et à puissance illimitée, ou appareil destiné à mettre en évidence le mode de la contraction musculaire; par M. G. Trouvé.

Le système de moteur électrique que je présente à la Société de Physique est composé de petits électro-aimants s'attirant par leurs pôles contraires, dont le nombre peut être illimité, et qui sont rendus solidaires entre eux par des parallélogrammes articulés, de manière à totaliser tous leurs efforts.

Frappé des effets considérables que produisait sur mes muscles un faible courant électrique, j'ai pensé que là devait résider un des principaux récepteurs de la force électromotrice. Ce fut dans ce sens que je dirigeai mes expériences, dont le résultat fut la construction d'un instrument répondant à toutes les fonctions du muscle.

J'assimile les molécules actives du muscle sous l'influence d'un courant nerveux à de petits électro-aimants s'attirant par leurs pôles contraires. Il est facile de comprendre de suite le travail produit par un pareil mécanisme. L'effet exercé par deux aimants, multiplié par la surface de section, donne bien l'idée du travail produit par le système et l'amplitude du mouvement, mais ne peut rendre compte des effets considérables observés sur le muscle des insectes, par exemple. Aussi, continuant mon étude, j'acquis la preuve qu'il fallait nécessairement totaliser chaque effort individuel des électro-aimants; car ce total devait donner mathématiquement le résultat de la puissance totale du système, et, par cela même, une plus hauté idée de celle du muscle.

Quel pouvait être maintenant le mécanisme pouvant totaliser les effets? Me rappelant ce jeu des enfants, appelé *grenouillette,* qui consiste dans des parallélogrammes articulés faisant mouvoir des soldats, je construisis un appareil qui se compose d'une série d'électro-aimants s'attirant entre eux par leurs pôles contraires, et réunis par des parallélogrammes articulés qui en totalisent les efforts.

Sans oser préjuger, en aucune façon, de la forme du muscle, et sans prétendre en rappeler tous les effets, ce petit appareil en ex-

plique cependant presque toutes les propriétés, et permet, dès maintenant, de formuler la théorie suivante :

La puissance d'un muscle est la résultante de toutes les attractions moléculaires. Ce petit appareil explique, d'une façon très-satisfaisante, l'amplitude du mouvement, qui est considérable, le changement de forme du muscle, dans l'allongement et le raccourcissement, sans changer de volume, la contraction du muscle par l'électrisation localisée (méthode de Duchesne, de Boulogne), sans avoir recours à des actions réflexes ou à la propagation de l'ébranlement moléculaire.

Il permet encore d'expliquer la persistance de la contraction musculaire dans ses effets, par la persistance du magnétisme rémanent, lorsque les électro-aimants sont maintenus au contact par un courant puissant. Le diagramme d'un pareil système, comparé à celui du muscle, lui est opposé ; mais, si on le fait agir, non par attraction, mais par répulsion, les deux diagrammes se confondent.

Pour donner plus de rapprochement encore avec le muscle, j'ai construit, pour un professeur, un bras et une main artificiels renfermant un système d'électro-aimants, qui entrait en fonction lorsqu'on plaçait dans la main un poids supplémentaire. Ce poids ajouté déterminait, par un léger allongement, la fermeture du circuit électrique, et aussitôt le bras se raccourcissait et entraînait, dans un mouvement ascensionnel, la main et le poids qu'on y avait placé.

Deux systèmes semblables, placés à chaque extrémité d'un balancier de balance, transformant ses oscillations en mouvement rotatif, donnent un moteur puissant et très-constant.

Logographe; par M. Barlow.

L'instrument que j'ai l'honneur de présenter à la Société française de Physique a été construit il y a quelques années et a fait l'objet d'un Mémoire lu à la Société Royale de Londres, en décembre 1874. L'objet que je me proposais d'atteindre était d'obtenir un tracé des forces pneumatiques qui accompagnent les

articulations de la voix humaine, sous la forme de diagrammes, tels que ceux qui servent à l'étude des pressions à l'intérieur des corps de pompe de machines à vapeur.

Toute émission de sons articulés par une voix humaine est accompagnée par une expulsion d'air de la bouche, avec des impulsions variables, avec des interruptions variables suivant la nature des mots prononcés. J'espérais, en construisant un instrument très-délicat, produire des diagrammes de formes assez caractéristiques pour être lisibles. Ce résultat complet n'a pas été obtenu et l'écriture du logographe n'est pas lisible dans le sens ordinaire du mot, c'est-à-dire lettre à lettre. Cependant les diagrammes de beaucoup de mots et de phrases sont facilement reconnaissables, et il n'est pas déraisonnable d'espérer que, par certains perfectionnements apportés à l'instrument et par une étude plus minutieuse des formes des différentes actions consonnantes et des voyelles, on arrivera à déchiffrer l'écriture du logographe.

Les belles inventions de M. Bell et de M. Edison, venant à la suite des travaux de M. Kœnig et d'autres savants, ont attiré à nouveau et très-vivement l'attention sur les nouveaux instruments commandés par la voix humaine; en conséquence, il ne sera sans doute pas sans intérêt que je précise, d'une manière mieux définie que je ne l'ai fait jusqu'ici, le genre de renseignements fournis par le logographe.

L'appareil présente une petite embouchure de trompette dont l'extrémité élargie se termine en une ouverture de $0^{m},07$. Cette ouverture est couverte par une mince membrane de caoutchouc. Un bras léger d'aluminium fixé au cadre de l'ouverture vient appuyer sur le centre de la membrane et porter à cette extrémité mobile un petit pinceau de martre imbibé de couleur. Une bande de papier comme celles des appareils télégraphiques passe dessous et est juste effleurée par le bout du pinceau, de telle sorte que, pendant le repos de la membrane, une ligne est tracée qu'on peut appeler la *ligne du zéro*. Il est utile de noter que l'embouchure de l'instrument présente une petite ouverture latérale pour l'échappement de l'air. D'ailleurs, quand on parle dans cette embouchure, il faut que les lèvres soient légèrement pressées contre les bords, de manière à éviter toute perte de l'air par les côtés et à forcer tout l'air expiré à passer dans cette trompette.

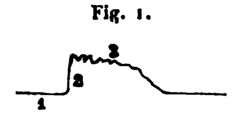
L'élasticité du bras d'aluminium, combinée à celle de la membrane, constitue une sorte de ressort qui est pressé plus ou moins vers l'extérieur suivant la force et les variations des actions pneumatiques.

On voit parfaitement dans les tracés du logographe la forme syllabique du langage; les syllabes varient en force et en étendue; elles se suivent à intervalles variables et parfois réagissent l'une sur l'autre.

L'étude analytique des tracés des syllabes est particulièrement facile pour celles qui commencent ou finissent par une de ces consonnes qu'on appelle *explosives*, comme P, B, T, D, K et G (dur).

Le diagramme de *Bé* est (*fig.* 1)

Fig. 1.

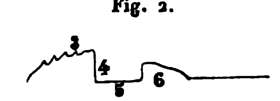


1 est la pause qui précède l'articulation et pendant laquelle les lèvres sont fermées.
2 est la période d'explosion soudaine.
3 est le son de la voyelle.

Le reste du tracé montre la décroissance graduelle et la pression jusqu'à zéro.

Le diagramme de *eb* est (*fig.* 2)

Fig. 2.



3 est le son de la voyelle.
4 est l'action consonnante.
5 une autre pause après cette action.
6 est une réaction qui résulte de la décharge de l'air comprimé qui reste dans la bouche.

La syllabe *beb* donne le diagramme de la *fig.* 3, dans lequel on reconnaît toutes les parties des deux précédents diagrammes.

La plus intéressante des consonnes explosives est le T, qui produit un mouvement plus soudain et un écart plus marqué par rapport à la ligne de zéro.

Il y a ensuite une autre classe de consonnes, plus nombreuse que la précédente, auxquelles j'ai donné le nom de *pneumoniques*, comme F, V, le *th* anglais et d'autres; dans la production de ces consonnes il y a un échappement d'air pendant les deux périodes de repos qui précèdent ou suivent; il résulte de là une forme

Fig. 3.

courbe particulière dans le tracé. Les quatre consonnes sifflantes appartiennent à la classe des pneumoniques.

Les consonnes nasales M et N sont des explosives en ce qu'elles répondent à une explosion de l'air de la bouche; mais, pendant les périodes de repos qui précèdent ou suivent et qu'on peut appeler *prépause* et *post-pause*, il y a un échappement d'air par le nez. Ces consonnes se différencient des autres, parce que leurs tracés s'éloignent beaucoup moins du zéro que les autres.

La consonne R fournit un diagramme très-remarquable qui résulte de l'action de la langue quand cette lettre est produite, action qui ressemble à celle de l'anche d'une clarinette.

La lettre L a aussi un diagramme spécial qui tient au mouvement soudain de l'extrémité de la langue entre les parties inférieure et supérieure de la bouche.

Ces deux lettres, et aussi l'aspirante H, sont des pneumoniques.

Il y a en anglais deux lettres classées parmi les consonnes, mais qui paraissent pouvoir être rendues aussi exactement par un changement soudain de certaines voyelles.

Si l'on examine attentivement les diagrammes des explosives, on trouve que, pour les labiales P, B et la nasale M, il y a une tendance à une élévation de la courbe avant l'explosion.

Pour les linguales T, D et pour l'N, il y a une apparence contraire.

Enfin, les gutturales K et G (dur) montrent clairement une marche de la courbe dans le sens négatif, avant l'explosion ou action positive.

Sur la question de l'accent, le logographe donne quelques indications intéressantes. Les grammairiens considèrent en général

l'accent comme le résultat d'une force dominante donnée à une syllabe particulière dans un mot; mon instrument prouve que l'accent résulte non-seulement de la force, mais aussi du temps.

La langue anglaise présente plusieurs substantifs

cóntract, áttribute, rébels,

dans lesquels l'accent est sur la première syllabe, tandis que les mêmes mots pris verbalement ont l'accent sur la seconde

contráct, attríbute, rebél.

Dans ces cas, et dans beaucoup d'autres, les diagrammes montrent qu'entre la plus grande force de la syllabe accentuée il y a aussi une durée plus grande de ces syllabes.

Il y a aussi grand intérêt à étudier les effets de réaction qui se produisent dans les syllabes et les mots qui se terminent par plusieurs consonnes. Ainsi, *act*, *apt* se terminent par deux consonnes explosives. Dans ces cas le son de la voyelle cesse le premier et se termine dans la première consonne; la seconde ne marque sa présence que par la réaction qui, quoique sans bruit, est accompagnée d'une action pneumatique de percussion sensible à l'oreille.

Dans les mots français *être, mètre,* et dans beaucoup d'autres, la consonne R est produite sans accompagnement de voyelle.

La difficulté de la lecture des tracés du logographe tient en grande partie à ce que ces réactions chevauchent, non-seulement entre les différentes syllabes d'un mot, mais encore entre les mots d'une phrase, à raison de cette circonstance que les mots sont prononcés par groupes et soudés les uns aux autres par ce qu'on appelle les *liaisons*. Il faut reconnaître qu'il y a aussi, quant à présent, un certain défaut de caractères distincts entre les différentes consonnes. Quant au défaut de dissemblances entre les voyelles, il n'a pas une très-grande importance quand l'objet à atteindre est le déchiffrement de tracés fournis par des sons connus. Les sténographes peuvent parfaitement se lire lors même qu'ils n'ont mis aucune indication de voyelles. Le procédé suivi alors n'est pas proprement celui de la lecture lettre à lettre, mais celui de la *reconnaissance,* si l'on peut ainsi parler, et qui s'applique toutes les fois qu'on lit des abréviations.

Je dirai, en manière de conclusion, que j'ai construit un logographe modifié qui permet de distinguer très-clairement toutes les labiales. Ce résultat est obtenu en plaçant la trompette ou embouchure sur un axe, de manière qu'elle se meuve dans un plan vertical par l'ouverture ou la fermeture des lèvres. Grâce à une autre disposition, toutes les syllabes pourront être détachées les unes des autres.

Les effets combinés de ces deux perfectionnements facilitent certainement le déchiffrement des diagrammes.

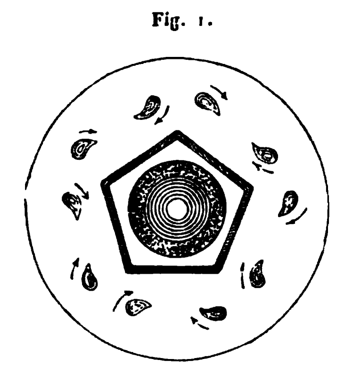
Phonéidoscope; par M. Sedley Taylor.

Il m'a paru intéressant de rechercher ce que deviendraient les couleurs d'une lame liquide mince si l'on faisait vibrer la lame en dirigeant sur elle des ondes sonores. Le phonéidoscope a pour but de trancher cette question. Il consiste en un cylindre vertical qui supporte une plaque métallique dans laquelle est découpée une ouverture propre à retenir une lame liquide. Au moyen d'un tube de caoutchouc, dont une extrémité est creusée dans le cylindre vertical et dont l'autre aboutit à une embouchure commode, on fait agir sur la surface inférieure de la lame des vibrations d'un son régulier quelconque, soit d'un instrument de musique, soit de la voix humaine. Le résultat de cette action est que les bandes de couleurs s'arrangent en une figure régulière qui demeure à peu près constante pendant un temps assez considérable, pourvu que le son excitant ne subisse aucun changement. Quant aux formes de ces figures, on s'attendrait certainement à y trouver des ressemblances avec les figures de Chladni, mais il n'en est rien. L'arrangement des bandes colorées ne présente aucune analogie avec les contours dessinés dans l'ouvrage de Chladni; en outre, les figures phonéidoscopiques présentent un caractère tout à fait spécial, savoir des tourbillons associés par couples et tournant dans des directions opposées.

La vitesse de rotation des tourbillons dépend exclusivement de l'intensité du son excitant. En général, une figure phonéidoscopique due à un son musical donné présentera une combinaison de bandes fixes et de tourbillons. Par exemple, si la lame est circu-

laire et que l'on emploie le son d'un diapason renforcé par son résonnateur, on peut obtenir la figure ci-dessous.

Fig. 1.



Si l'on avait une série de diapasons correspondant à toutes les hauteurs de la gamme, on obtiendrait pour chaque diapason une figure différente. Aux sons graves correspondraient des figures à contours relativement larges; aux sons aigus des dessins extrêmement petits. En faisant agir simultanément deux diapasons de hauteurs différentes, on a une figure résultant des deux figures dues aux deux diapasons agissant séparément, de même que dans la Mécanique un seul mouvement résulte de deux mouvements composants.

Depuis qu'on a généralement admis l'analyse de Helmholtz, on reconnaît que les sons des différents timbres sont des agrégations de sons simples harmoniques. Il est donc évident que ces différences entre des notes de même hauteur doivent nécessairement s'accuser dans le phonéidoscope. L'expérience confirme de la manière la plus complète cette déduction.

L'articulation des voyelles fait ressortir les différences de timbre d'une façon saillante. Les nuances délicates entre les U français et allemand, entre le O et le Ö, le E et le Ä de cette dernière langue, sont aussi nettement présentées.

Si nous venons à l'étude des diphthongues, nous voyons que la figure phonéidoscopique passe successivement de celle de la première voyelle composante à la seconde, ce qui prouve expérimentalement que les diphthongues sont bien, comme l'écriture ordinaire l'indique, un composé de deux actions successives.

Je me fais un plaisir de mentionner que, lors de la présentation de mon Mémoire à la Société Royale de Londres, M. Ward, le jeune et intelligent préparateur de M. Spottiswoode, me montra un instrument identique en principe, avec lequel il m'avait devancé en faisant plusieurs des expériences que je venais de publier, quoiqu'il ne les eût fait connaître que dans le laboratoire de M. Spottiswoode.

SÉANCE DU 15 NOVEMBRE 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 septembre est lu et adopté.

M. Antoine Breguet présente divers appareils de rotation électromagnétique qu'il a imaginés en vue d'étudier les meilleures conditions de fonctionnement des machines du système de Gramme, considérées soit comme sources de courant, soit comme électromoteurs.

M. Gernez expose ses recherches sur l'influence d'une action mécanique pour provoquer l'ébullition d'un liquide surchauffé ou la décomposition d'une substance explosive.

M. Marey a étudié la décharge électrique d'un gymnote et constaté qu'elle se compose d'une série de décharges très-rapprochées comme celle de la torpille. Il a eu l'idée d'appliquer le téléphone à l'étude de la périodicité de ces décharges. Une torpille étant placée entre deux feuilles d'étain reliées au téléphone, on pique le lobe électrique de l'animal, et l'on entend une sorte de gémissement prolongé dont on a pu constater la hauteur. C'est le mi_1 correspondant à 165 vibrations doubles par seconde. La décharge ordinaire de la torpille est de trop courte durée pour que l'oreille puisse, par l'intermédiaire du téléphone, constater autre chose qu'un bruit sans tonalité déterminée.

Différentes formes d'appareils de rotation électromagnétique, et déplacement des frotteurs dans la machine de Gramme; par M. Antoine Breguet.

Lorsqu'un conducteur se meut dans un champ magnétique, la force électromotrice dont il devient le siége est proportionnelle au nombre des lignes de force qu'il coupe en un temps donné,

$$E = \frac{N}{t}.$$

Inversement, si le conducteur mobile est le siége d'une force électromotrice E, il se déplacera de façon à couper N lignes de force pendant le temps t, de façon que l'on ait

$$\frac{N}{t} = E.$$

Cette inversion absolue me permettra de choisir indifféremment entre les deux méthodes, fondées, l'une, sur la mesure du courant engendré par un déplacement connu, l'autre, sur la mesure d'un déplacement causé par une force électromotrice également connue. La dernière est certainement la plus commode à employer. Je me servirai d'appareils capables de prendre un mouvement de rotation dans un champ magnétique. Les nombres de tours exécutés pendant une minute serviront à comparer les résultats obtenus dans des conditions différentes.

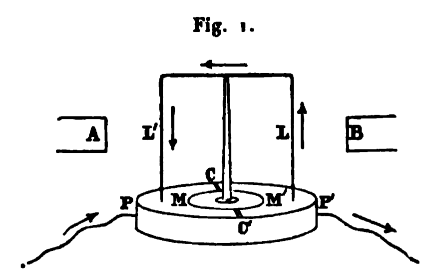
Si le conducteur, disposé comme l'indique la *fig.* 1, tourne autour de son axe de symétrie de façon que son plan, d'abord normal aux lignes de force, effectue une rotation de 180°, la force électromotrice, d'abord nulle, atteint un maximum et redevient nulle; après quoi, si la rotation se continue jusqu'à 360°, la force électromotrice repasse par la même série de valeurs prises en signe contraire.

Les cloisons d'ébonite C et C′ divisent le canal circulaire de mercure MM′ en deux arcs égaux.

Les deux pôles d'une pile aboutissent en P et P′, et l'appareil est placé dans le champ magnétique de l'aimant AB. Le passage du courant fait mouvoir le conducteur vers sa position d'équilibre

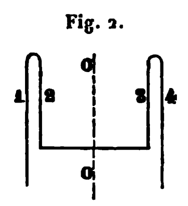
stable; mais, aussitôt qu'il l'atteint, les cloisons sont franchies par les branches L et L′, le courant change de sens, et, sous cette nouvelle influence, la rotation se continue, et ainsi de suite.

Fig. 1.



Dans le cas du conducteur représenté *fig.* 2, les fils adjacents 1 et 2, 3 et 4 coupent à peu près le même nombre de lignes de force. Le système, s'il est contraint à se déplacer mécaniquement, est traversé par deux courants contraires dont la différence est très-faible. Si les deux fils internes 2 et 3 se confondent avec l'axe de rotation, ils ne coupent plus aucune ligne de force pendant leur mouvement, et la force électromotrice développée dans le conducteur est la même que si ces fils internes n'existaient pas : on se trouve ainsi ramené au cas de la *fig.* 1.

Fig. 2.

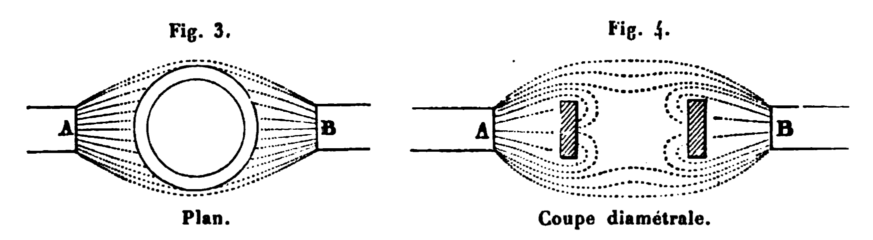


Ce qui empêche le système actuel (*fig.* 2) de fournir les mêmes résultats que celui de la *fig.* 1, c'est donc l'action du champ magnétique sur les fils internes 2 et 3. S'il était possible de soustraire ces fils à l'action du champ, les deux systèmes deviendraient équivalents. Or, un anneau de fer occupant l'espace annulaire compris entre les deux circonférences de rayons o.1 et o.2 permet d'atteindre ce but. Cet anneau réalise, en effet, un écran magnétique, comme le montrent les fantômes (*fig.* 3 et 4) [1]. Les lignes

[1] En réalité, quelques lignes de force coupent aussi les fils internes, mais seu-

de force traversent les conducteurs externes, puis suivent le fer qui leur fournit un chemin plus facile, et, enfin, viennent traverser de nouveau les fils externes diamétralement opposés aux premiers. L'expérience montre d'ailleurs que le circuit 1.4 tourne avec rapidité sous l'influence d'un courant lorsque l'anneau de fer est convenablement disposé, et qu'il ne tourne qu'avec difficulté lorsque cet anneau est supprimé.

Fig. 3. Fig. 4.



Plan. Coupe diamétrale.

Les systèmes 1 et 2 sont susceptibles de multiplication, c'est-à-dire qu'il est possible de réaliser des circuits continus à autant de branches verticales que l'on veut, et dont chaque branche donnera un courant qui s'ajoutera au courant de toutes les autres.

L'appareil représenté *fig.* 1 donne naissance à un système multiple imaginé, après la machine de Gramme, par M. van Alteneck. Il peut se composer d'autant de branches que l'on trouve de sommets dans un polygone étoilé, d'un nombre pair de côtés. Le plus simple de ces polygones est l'octogone. La *fig.* 5 montre l'exemple d'enroulement fondé sur l'octogone. Les prises de contact y sont disposées aux extrémités de quatre branches seulement, et les auges de mercure doivent alors n'occuper chacune qu'un arc de 90°. Ici quatre courants de chaque côté ajoutent leurs forces électromotrices.

Le conducteur de la *fig.* 2 réalise, pour ainsi dire, un schéma de la machine de Gramme. Cette machine se compose, en effet, d'un anneau de fer enveloppé par les spires d'un fil continu. J'ai

---

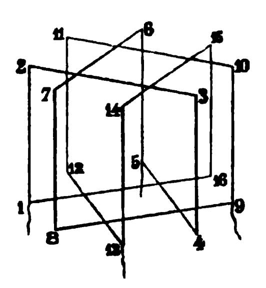
lement après s'être recourbées de 180°, de sorte que leur action s'exerce de façon à fournir un courant qui *s'ajoute* dans les spires à celui des fils externes. Sans anneau, les lignes de force couperaient les deux fils de manière à fournir deux courants en opposition.

Si l'anneau affectait la forme d'un long cylindre creux, sa surface interne ne serait coupée que par un très-petit nombre de lignes de force.

dit que les parties internes de ces spires sont soustraites à l'influence du champ magnétique presque entièrement, et que la faible influence à laquelle elles sont soumises s'exerce de façon à fournir un courant qui s'ajoute à celui des parties externes. Il est facile alors d'établir l'identité théorique de la machine de Gramme et du conducteur de la *fig.* 2, armé de son anneau de fer.

Afin d'accroître l'intensité du champ magnétique dans la région où se meut la bobine et d'augmenter par là la capacité d'une ma-

Fig. 5.



chine donnée, il est indispensable d'emprisonner un noyau de fer dans le circuit d'Alteneck. Dans la machine de Gramme, l'armature de fer existe déjà, commandée par l'essence même de la machine.

Ces armatures peuvent être immobiles ou entraînées dans le mouvement de la bobine, sans que rien soit changé aux précédentes explications. Cependant, si l'on se rappelle l'expérience de Foucault sur le magnétisme de rotation, on est amené à constituer l'anneau, s'il est mobile, par des spires de fil de fer enroulées autour de sa propre circonférence et noyées dans un enduit isolant.

Il me reste encore à parler d'un phénomène particulier qui se rencontre dans tous les appareils que je viens d'exposer. L'expérience montre que, pour obtenir les meilleurs effets possibles d'une machine de Gramme, il convient de donner aux balais frotteurs une position notablement différente de celle que la théorie semble à première vue leur assigner. Cette anomalie a toujours été attribuée au retard à l'aimantation de l'anneau de fer doux. J'ai pu démontrer que ce n'est pas là sa vraie cause et que la force

coercitive de l'armature ne suffit nullement à expliquer les particularités de ce phénomène.

La position la plus favorable des frotteurs, indiquée par la théorie, est telle que le diamètre des prises de contact soit normal à la ligne de force qui passe par l'axe de rotation. Mais il faut tenir compte de la réaction du champ magnétique propre aux courants sur le champ magnétique fixe des aimants, réaction qui amène une déformation de ce dernier. La ligne de force moyenne n'affecte donc pas une forme constante lorsque le circuit est traversé ou non par un courant; la position des frotteurs doit donc être modifiée. Ces considérations montrent que l'influence du fer doux de l'armature n'entre pour rien dans le déplacement des prises de contact, et l'expérience montre, en effet, qu'il suit les mêmes lois dans les systèmes qui ne comportent aucune armature.

Mes conclusions peuvent se formuler de la manière suivante :

« Lorsqu'on veut obtenir le meilleur effet possible du système constitué par un circuit mobile animé d'un mouvement de rotation dans un champ magnétique :

» 1° Si ce mouvement est causé par le passage du courant d'une source étrangère, le diamètre des prises de contact doit être déplacé, *en sens inverse de la rotation,* d'un angle d'autant plus grand que l'intensité du courant est plus considérable et que l'intensité du champ magnétique fixe est plus faible.

» 2° Si ce mouvement est destiné, au contraire, à engendrer un courant continu dans l'appareil, le même diamètre doit être déplacé dans le sens de la rotation. »

Il importe de remarquer que, dans le cas spécial où le champ magnétique est produit, non par un aimant permanent, mais par un électro-aimant excité par le courant du circuit mobile, le déplacement des frotteurs est insensible pour de faibles vitesses de rotation. Les champs magnétiques fixe et mobile sont en effet, dans ce cas, fonctions l'un de l'autre. Dans de certaines limites, leurs intensités croissent ensemble sans qu'aucune devienne prédominante. La déformation du champ fixe n'est donc que peu accusée, et, puisque c'est elle qui commande le déplacement des prises de contact, celui-ci ne prendra de valeurs notables qu'à partir du moment où l'intensité du courant excitateur aura pu saturer les électro-aimants.

Sur l'efficacité d'un mouvement vibratoire pour provoquer la décomposition des liquides explosifs et l'ébullition des liquides surchauffés; par M. D. Gernez.

Dans un Mémoire consacré à l'*Étude des solutions gazeuses sursaturées* (¹), j'ai établi que, si l'on nettoie avec un soin suffisant des tubes de verre, on peut y conserver pendant très-longtemps, à l'état de sursaturation, des solutions de gaz que l'on a saturées sous des pressions supérieures à 2^{atm} et même 3^{atm}, bien que les tubes soient librement ouverts dans un milieu qui ne contient que des quantités négligeables de gaz dissous. J'ai fait voir, en effet, que s'il n'y a pas, dans le liquide, d'atmosphère gazeuse retenue soit par les parois du vase, soit autour des corps solides qui s'y trouvent, l'émission du gaz dissous n'a lieu qu'à la surface libre du liquide et qu'elle ne continue qu'à la suite d'un échange de couche en couche qui ne s'effectue qu'avec une extrême lenteur si la température est constante. C'est ainsi que l'on peut conserver pendant plusieurs mois de l'eau de Seltz sursaturée dans un tube ouvert de $0^m,40$ de long, si l'on a eu soin d'éliminer les causes qui amèneraient une atmosphère gazeuse dans le liquide sursaturé. Vient-on, au contraire, à y introduire des bulles de gaz, chacune d'elles est le siége d'une émission gazeuse d'autant plus abondante que, toutes choses égales d'ailleurs, sa surface est plus grande. Or, parmi les moyens que l'on peut employer pour produire des surfaces d'émission de gaz ou des solutions de continuité dans la colonne liquide, l'un des plus efficaces et qui donne lieu aux effets les plus rapides consiste à communiquer un mouvement vibratoire énergique au tube qui contient le liquide : si l'on fait usage d'un tube de verre fermé à un bout, de plus de 1^m de long et de 5 à 8^{mm} de diamètre, rempli d'eau de Seltz ordinaire, par exemple, et que, le tenant verticalement par son milieu, on en frotte longitudinalement la moitié inférieure avec du drap légèrement mouillé, de manière à obtenir un son un peu intense,

(¹) *Annales scientifiques de l'École Normale supérieure*, 2ᵉ série, t. IV, p. 311, et *Journal de Physique*, t. IV, p. 42.

on voit naître subitement un nuage de bulles gazeuses, qui grossissent assez rapidement pour projeter hors du tube une grande partie du liquide.

Les analogies que j'ai fait connaître depuis longtemps entre le dégagement des gaz de leurs solutions sursaturées et la décomposition des corps explosifs, ainsi que l'ébullition des liquides surchauffés, m'ont conduit à essayer l'influence d'un mouvement vibratoire énergique sur ces deux phénomènes. Je vais indiquer sommairement le résultat de cette étude.

En ce qui concerne la décomposition des corps explosifs, j'ai principalement expérimenté sur le liquide bleu connu sous le nom d'*acide azoteux* et qui se dépose au fond de l'eau refroidie lorsqu'on y fait tomber goutte à goutte de l'acide hypoazotique. A cet effet, j'ai nettoyé un tube de verre d'environ 1^m de long et 6^{mm} de diamètre, en y faisant séjourner successivement de la potasse caustique chaude, de l'eau bouillante, de l'acide sulfurique chaud, de l'alcool bouillant, puis le lavant plusieurs fois avec de l'eau distillée filtrée. J'ai porté le tube, plein aux trois quarts d'eau distillée bouillie, à une température voisine de 100°; je l'ai enfin introduit dans de la glace. J'ai alors laissé tomber dans cette glace de l'acide hypoazotique bien limpide, et il s'est formé au fond du tube une couche bleue d'acide azoteux, surmontée d'une solution incolore d'acide azotique. Dans ces conditions, le liquide peut être amené lentement jusqu'à une température supérieure à 20°, comme je l'ai indiqué depuis longtemps, sans manifester la moindre trace de décomposition, et on peut le conserver inaltéré pendant un certain nombre de jours, à la condition de n'y rien introduire qui amène une atmosphère gazeuse. Mais, si l'on tient par son milieu un tube ainsi préparé, et qu'on le fasse vibrer longitudinalement en frottant énergiquement la moitié inférieure de manière à lui faire rendre un son intense, le liquide est instantanément projeté à une distance de plusieurs mètres, en manifestant tous les caractères d'une véritable explosion. Dans cette expérience, l'acide azoteux se décompose en bioxyde d'azote et acide azotique, et la rapidité du phénomène tient d'abord, comme dans l'expérience précédente, à ce que le mouvement vibratoire que l'on communique au liquide détermine, s'il est suffisamment énergique, la rupture de la continuité du liquide en un grand nombre de points : il en résulte de nom-

breuses surfaces libres sur lesquelles la décomposition peut s'effectuer; de plus, l'acide azoteux, ainsi qu'il résulte des recherches de M. Berthelot, se décompose avec dégagement de chaleur, et l'échauffement instantané qui en résulte dans la masse augmente considérablement la rapidité du dégagement de gaz qui, ne trouvant pas assez vite une issue, projette devant lui le liquide superposé.

Les liquides surchauffés entrent aussi en ébullition sous l'influence d'un mouvement vibratoire : l'expérience, qui présenterait quelques difficultés avec des liquides dont le point normal d'ébullition est supérieur à la température ordinaire, est au contraire facile si l'on fait usage de substances dont le point normal d'ébullition est notablement inférieur à cette température. On procède du reste de la même manière que dans les cas précédents. Dans des tubes nettoyés avec les soins indiqués plus haut, on réussit aisément à surchauffer les liquides et à les amener à des températures qui dépassent de 10°, 20°, 30° et plus le point normal d'ébullition sous la même pression. On peut se servir, par exemple, d'éther éthylchlorhydrique qui bout à 11° sous la pression ordinaire et que l'on amène facilement à 25° sans qu'il y ait ébullition; ou encore d'acide sulfureux qui bout à — 10°; on peut aussi faire usage de protoxyde d'azote liquide, mais le liquide qui se prête le mieux à l'expérience est l'éther méthylchlorhydrique, qui bout à — 23° et que l'on peut se procurer et manipuler facilement, grâce aux intéressantes recherches de M. C. Vincent. Voici comment on peut réaliser l'expérience : on dispose sur un tube soigneusement nettoyé un entonnoir muni d'un filtre et l'on y fait tomber le liquide en ouvrant le réservoir qui le contient ; une quantité relativement petite du liquide s'évapore en refroidissant l'entonnoir et le tube, qui bientôt se remplit. L'évaporation de ce liquide, n'ayant lieu qu'à la surface libre, est extrêmement lente, et souvent le niveau ne baisse pas de plus de $0^m,01$ par heure; le froid produit par l'évaporation est insuffisant pour entretenir la température au-dessous du point normal d'ébullition. Si le tube est entouré d'air sec, le réchauffement du liquide est lent; il est plus rapide s'il n'est pas protégé par une double enveloppe à air sec, car la vapeur d'eau atmosphérique se condense à sa surface et forme une couche de givre qui fond peu à peu. Lorsqu'elle est fondue, dès qu'on fait vibrer le tube, il se produit une ébullition extrêmement active.

mais qui s'arrête aussitôt, au lieu d'augmenter comme dans les expériences précédentes. Ce fait s'explique aisément : la transformation subite en vapeur d'une grande quantité de liquide consomme beaucoup de chaleur et détermine un tel refroidissement du liquide non vaporisé, que sa température peut être ramenée dans le voisinage du point normal d'ébullition.

SÉANCE DU 6 DÉCEMBRE 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. le B[on] d'Eichthal, à Paris; le C[te] Th. de Dienheim Brochocki, ingénieur à Paris; Faure, ingénieur de la Société the Coton-Powder oare Works, à Faresham (Angleterre); Guerby, professeur au collége de Grasse; Hauck (W.-J.), constructeur à Vienne (Autriche); Romanet, ancien élève de l'École des Mines, à Bovelles (Somme); Roode (F.), ingénieur, à Paris; Tilmant (V.), directeur de l'École supérieure à Lille; Stepanoff, préparateur de Physique à Cronstadt (Russie).

M. Pellat expose l'appareil qu'il a imaginé pour effectuer la synthèse de couleurs composées de composition connue.

M. Dumoulin-Froment présente un appareil basé sur l'invariabilité du plan de rotation du tore, et destiné à parer aux erreurs auxquelles peut exposer en certains cas l'emploi exclusif du compas de mer.

M. Duter décrit une expérience qui prouve que, dans certains cas, l'électrisation peut changer le volume des corps.

M. Antoine Bréguet présente, de la part de M. Édouard André, un téléphone à ficelle trouvé dans la Nouvelle-Colombie, en janvier 1876. L'instrument paraîtrait connu dans la Nouvelle-Grenade depuis longtemps.

M. Niaudet attribue l'invention du téléphone à ficelle à M. Weinhold, professeur de Physique à Chemnitz, qui a publié, en 1870,

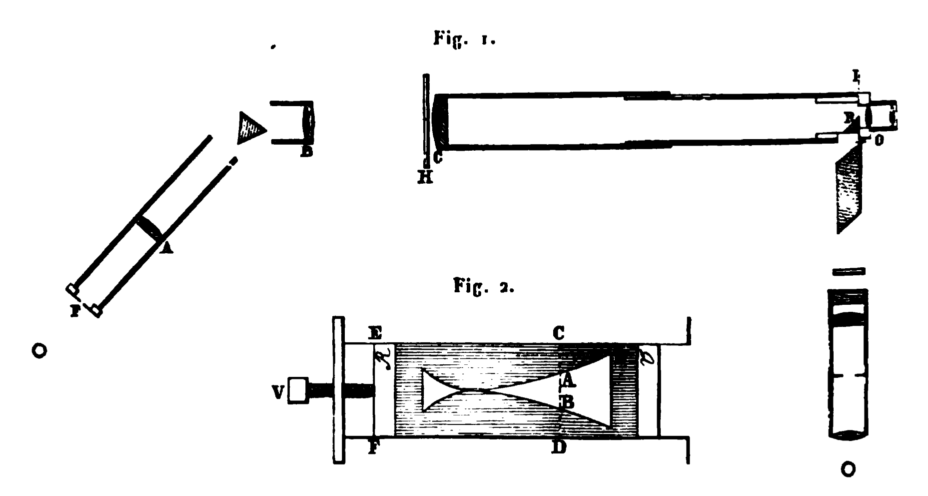
dans le ***Repertorium für experimental Physik,*** le détail d'une expérience sur la transmission de la voix humaine par un fil de fer.

Appareil destiné à effectuer la synthèse des couleurs composées ; théorie de la réflexion; par M. Henri Pellat.

Dans certaines questions d'Optique, le calcul donne les différentes proportions suivant lesquelles les couleurs du spectre de la lumière blanche doivent être prises dans une teinte colorée ; par exemple, les phénomènes de polarisation rotatoire et chromatique se prêtent au calcul. Or, jusqu'ici, on n'avait guère d'autre ressource, pour contrôler l'exactitude de ces calculs et, par conséquent, des théories sur lesquelles ils reposent, que l'emploi du cercle chromatique de Newton ou celui des disques rotatifs, qui ne pouvaient donner la teinte que d'une façon grossièrement approchée. C'est ce qui m'a engagé à construire un appareil qui réalise la teinte calculée en prenant les couleurs mêmes du spectre, suivant les proportions voulues et en les mélangeant complétement.

Cet appareil (dont le principe est celui d'une des dispositions expérimentales de Newton pour reconstituer la lumière blanche) se compose d'un collimateur formé par une fente F (*fig.* 1) placée au foyer d'une lentille A. Les rayons émis par la fente, rendus parallèles par la lentille, tombent sur un prisme de 60° en flint dispersif, ayant ses arêtes parallèles à la fente et tourné au minimum de déviation pour la raie D. Les rayons déviés et dispersés passent à travers une lentille convergente B qui donne, en son foyer H, un spectre réel de la fente ; dans ce plan se trouvent deux rainures parallèles qui permettent d'y placer un écran pouvant intercepter une certaine portion du spectre. Ces écrans sont formés par une lame rectangulaire en verre (*fig.* 2), rendue opaque par places au moyen d'une couche d'encre de Chine ; la courbe de séparation entre la partie opaque et la partie transparente se dessine, d'après la loi indiquée par le calcul, d'une façon fort simple : il faut que la hauteur AB non interceptée d'une couleur soit à la hauteur totale CD dans le rapport suivant lequel on veut admettre

cette couleur dans la teinte colorée. La ligne CD, correspondant à une raie X du spectre, se trouve dans tous les écrans à la même distance de l'arête EF de la lame; celle-ci est poussée dans la glissière jusqu'à ce que cette arête vienne buter contre une vis V, réglée de façon que la raie X tombe en CD; les écrans se mettent ainsi en place sans tâtonnement. Immédiatement derrière le plan du spectre se trouve une lentille convergente G, assez large pour le recevoir tout entier; elle donne au foyer conjugué de la face de sortie du prisme, vue à travers la lentille B, une image réelle



de celle-ci, image qui sera blanche si aucune couleur n'est interceptée, mais qui se colorera d'une teinte parfaitement plate si un écran intercepte d'une façon inégale, mais quelconque du reste, les différentes couleurs.

On pourrait recevoir cette image sur un écran et la voir par diffusion, comme dans l'expérience de Newton, mais ce procédé nécessite l'emploi d'une source lumineuse au moins aussi intense que la lumière Drummond; il est bien préférable de la regarder directement en plaçant l'œil derrière. Mais une difficulté se présente : si l'on regarde à l'œil nu cette image, il faudra se placer à une distance au moins égale au minimum de vision distincte; or, à cette distance, les différentes couleurs qui se sont réunies dans l'image se sont séparées de nouveau et forment un spectre diffus dont les dimensions linéaires sont bien supérieures au diamètre de

la pupille; celle-ci se trouve placée dans l'une ou l'autre des couleurs qui seule est admise sur la rétine; le mélange ne se fait pas. Pour obvier à cet inconvénient, il faut regarder l'image avec un oculaire négatif ou positif très-convergent ([1]); celui-ci donne, derrière l'œilleton, une image très-petite du spectre, dont les dimensions sont inférieures à celles de la pupille, et, en plaçant l'œil devant l'oculaire mis au point, on voit l'image de la face de sortie du prisme teintée du mélange des couleurs conservées, car aucune n'est arrêtée par les bords de l'iris.

Pour que cet appareil réalise exactement la couleur calculée, il y a quelques conditions à remplir. Il faut d'abord que la teinte regardée soit parfaitement plate pour que le mélange soit complet; or, pour cela, il est nécessaire que chaque point de l'image soit également éclairé par tous les points du spectre, condition qui revient à la suivante : que chaque point de la petite portion de la face de sortie du prisme dont l'image est vue par l'oculaire soit également éclairé par tous les points de la fente. On doit donc employer une source lumineuse réelle d'un diamètre (apparent et réel) qui ne soit pas trop faible ([2]), et l'on disposera la lentille du collimateur de façon que l'image de cette source aille se former à peu près sur la face de sortie du prisme, à l'endroit dont l'image est vue à travers l'oculaire.

Il faut encore que chaque couleur du spectre présente la même intensité dans toute sa hauteur ([3]), ce qui nécessite une fente à bords bien parallèles, également éclairée dans toute sa hauteur.

En général, il est intéressant de comparer la teinte réalisée par

---

([1]) Un oculaire de Ramsden, d'un grossissement de 20 diamètres, convient parfaitement.

([2]) La lumière diffusée par les nuées, la lumière d'une lampe modérateur ou d'un bec de gaz conviennent parfaitement. La lumière directe du Soleil serait aveuglante dans les conditions ordinaires; si l'on avait besoin de s'en servir, il faudrait joindre au collimateur une lentille d'au moins $0^{m},60$ de foyer, qu'on placerait à cette distance de la fente et du prisme.

Je compte modifier ainsi l'appareil pour étudier le mélange de deux ou trois couleurs réduites à des bandes linéaires très-étroites.

([3]) On s'assure que cette condition est bien remplie à l'aide d'un écran opaque, présentant une bande transparente oblique, à bords parallèles.

La teinte doit rester parfaitement blanche. Ce procédé est d'autant plus sensible que la bande est plus étroite.

l'appareil à celle d'une source lumineuse, soit blanche, soit colorée, ou, dans le cas de la polarisation rotatoire et chromatique, à celle fournie par l'appareil de Nörremberg. Pour que cette comparaison s'effectue dans les meilleures conditions, il se trouve dans le plan regardé par l'oculaire (qui doit être positif), la face d'un prisme à réflexion totale R qui renvoie dans l'œil la lumière d'une source placée latéralement; le champ se trouve ainsi partagé en deux parties égales : dans l'une on voit la teinte calculée, réalisée par l'appareil, dans l'autre la teinte de comparaison; ces deux teintes sont juxtaposées comme les deux parties d'une plaque à deux rotations.

Voici maintenant quelles sont les recherches qui m'ont amené à construire cet appareil et à m'en servir.

J'avais besoin, pour mettre en évidence quelques propriétés de l'éther, de m'appuyer sur les formules de Cauchy relatives à la réflexion d'une onde plane incidente à la surface de séparation de deux milieux transparents. Quelques physiciens ont adressé à ces formules la critique suivante.

Suivant les idées de Fresnel et de Cauchy, généralement admises aujourd'hui, l'éther serait répandu dans tous les corps transparents et occuperait l'espace laissé entre elles par les molécules pondérables.

Les propriétés de ce fluide, telles que la densité moyenne ou la vitesse de la lumière qui en dépend, sont constantes dans un même milieu, mais varient d'un milieu à un autre; de là, les phénomènes de réflexion et de réfraction qui se produisent à la surface de séparation. Or, il est fort probable qu'il existe entre deux corps transparents une couche dans laquelle les propriétés de l'éther sont intermédiaires entre celles qu'il possède dans chacun d'eux et varient graduellement des unes aux autres. Cette couche, qui est désignée sous le nom de *couche de transition* [1], se trouvant là précisément où s'opère la réflexion, peut jouer un rôle important dans ce phénomène, et quelques physiciens ont pensé que les for-

---

[1] Il faut se garder de la confondre avec la couche dans laquelle les vibrations *évanescentes* de Cauchy ont une existence sensible. Une expérience bien connue de Fresnel montre que cette dernière couche a une épaisseur appréciable; mais cette expérience ne prouve rien sur l'épaisseur de la couche de transition.

mules de Cauchy, qui n'en tiennent pas compte, ne devaient représenter que d'une façon éloignée le phénomène réel.

Pour savoir ce que vaut cette critique, il faut d'abord connaître quelle peut être l'épaisseur de cette couche de transition. J'ai essayé, non pas de la déterminer exactement, mais de fixer une limite à laquelle elle devait rester inférieure.

Un phénomène vulgaire semble prouver que cette couche a une épaisseur très-faible : c'est la fidélité parfaite avec laquelle les couleurs composées sont reproduites par la réflexion à la surface des corps transparents ; la lumière blanche, en particulier, se réfléchit en restant parfaitement blanche. Or, ceci me paraît incompatible avec une épaisseur de la couche de transition comparable à la longueur d'onde.

En effet, au point de vue optique, il n'y aura aucun plan de séparation absolue entre les deux milieux, aucun plan sur lequel la réflexion s'effectue exclusivement. Dans la couche de transition, à la limite commune de deux tranches dont les propriétés diffèrent infiniment peu, doit se produire une onde réfléchie d'intensité infiniment faible, et c'est la superposition de toutes ces ondes élémentaires, provenant de profondeurs différentes à l'intérieur de la couche, qui doit produire ce qui est appelé *l'onde réfléchie*. Or, il est clair que, si cette couche a une épaisseur comparable à la longueur d'ondulation, les ondes élémentaires provenant des parties profondes auraient un retard sensible sur celles qui se sont réfléchies dans les parties superficielles ; il se produira un phénomène analogue à celui des lames minces, la lumière blanche sera teintée par la réflexion.

Pour plus de précision, j'ai appliqué le calcul à cette manière de voir, et j'ai obtenu une formule approchée, applicable sous l'incidence normale, que j'ai établie en considérant la couche de transition comme formée d'une infinité de lames infiniment minces, d'indice variant par quantités infiniment petites depuis la première jusqu'à la dernière. Pour une épaisseur supposée à la couche de transition, cette formule donne les proportions différentes suivant lesquelles les diverses couleurs existent dans l'onde réfléchie.

Je ne m'en suis pas tenu là : pour contrôler l'exactitude du précédent calcul et des vues théoriques sur lesquelles il repose, j'ai établi à nouveau les formules de Cauchy en m'appuyant sur les

mêmes hypothèses ([1]), sauf celle qui suppose nulle l'épaisseur de la couche de transition. J'ai appliqué le principe de continuité des élongations et de leurs dérivées par rapport à la normale, non pas à la surface des deux milieux transparents supposés brusquement limités, mais au plan de séparation de deux tranches, dont les propriétés sont infiniment voisines, dans l'intérieur de la couche.

On est ainsi conduit à une équation différentielle, dans le cas où l'onde incidente polarisée a ses vibrations perpendiculaires au plan d'incidence, et à un système de deux équations à deux fonctions inconnues, dans le cas où les vibrations sont comprises dans le plan d'incidence. Je me suis borné à traiter complétement le premier cas. L'équation est du second ordre, elle se ramène aisément à celle de Riccati; on obtient un développement de l'intégrale en série très-convergente, et, dès qu'on suppose l'épaisseur plus faible que $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ de longueur d'onde, on peut se borner aux deux premiers termes. On trouve ainsi des formules représentant les amplitudes de l'onde réfléchie et de l'onde réfractée, applicables, quelle que soit l'incidence, se réduisant aux formules de Fresnel (ou de Cauchy) quand on suppose nulle l'épaisseur de la couche de transition, satisfaisant, quelle que soit cette épaisseur, au principe de la conservation de l'énergie, *quoique ce principe ne soit pas employé pour les établir*.

Ces formules donnent sous l'incidence normale, dès que l'épaisseur supposée à la couche est inférieure à $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ de longueur d'onde (c'est-à-dire dès que leur emploi est légitime), les mêmes résultats numériques que la formule approchée obtenue d'abord pour les proportions suivant lesquelles les différentes couleurs sont réfléchies. L'accord complet de ces deux formules, obtenues par des voies complétement différentes et dont la seconde est très-rigoureuse, m'a donné confiance dans leurs résultats.

J'ai pu alors calculer les proportions des diverses couleurs dans la lumière réfléchie provenant d'un rayon incident blanc, en sup-

---

([1]) Ces hypothèses, au nombre de trois, sont communes à la théorie de la double réfraction, dont les conséquences (réfraction conique, etc.) ont reçu de l'expérience une confirmation si éclatante.

posant l'épaisseur successivement égale à $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, ..., $\frac{1}{10}$ de longueur d'onde moyenne λ. J'ai construit les écrans correspondants, et, les ayant introduits dans l'appareil, j'ai constaté que, pour $\frac{\lambda}{5}$, la couleur blanche deviendrait jaune d'or par réflexion; pour $\frac{\lambda}{6}$, elle serait d'un jaune pâle; pour $\frac{\lambda}{8}$, elle se distingue encore nettement du blanc employé au comparateur; pour $\frac{\lambda}{9}$, $\frac{\lambda}{10}$, la distinction est plus incertaine; par conséquent, l'épaisseur de la couche de transition est plus faible que $\frac{1}{8}$ de longueur d'onde moyenne. J'ai constaté, en outre, qu'un rayon solaire réfléchi quatre fois entre deux lames de verre parallèles, sous l'incidence presque normale, reste parfaitement blanc, ce qui montre que l'épaisseur de la couche doit être plus faible que $\frac{1}{16}$ de longueur d'onde.

Si maintenant on introduit dans les formules de Cauchy *modifiées* la supposition d'une épaisseur de la couche de transition plus faible que $\frac{1}{16}$ de longueur d'onde, on voit qu'elles donnent des résultats ne différant pas sensiblement de ceux fournis par les formules qui la supposent nulle.

C'est ainsi que j'ai cru pouvoir répondre à la seule critique un peu sérieuse qu'on ait adressée aux formules de Cauchy.

Gyroscope marin de M. E. Dubois;
par M. P. Dumoulin-Froment.

Le gyroscope que j'ai construit sur les indications de M. Dubois est un instrument qui a pour but de déterminer, à un demi-degré près, *l'angle dont un navire vient sur bâbord ou sur tribord* quand il change de route.

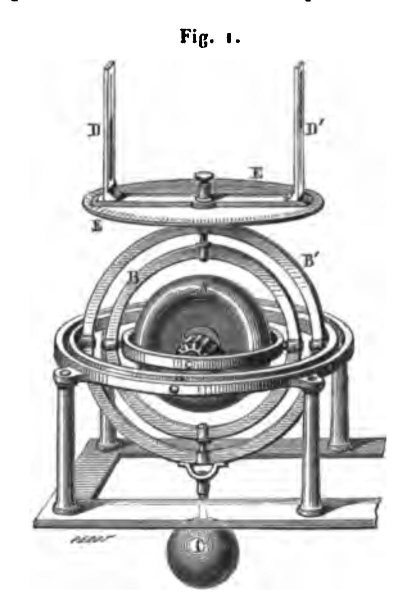
Cet instrument est basé sur l'*invariabilité dans l'espace du plan de rotation d'un tore* animé d'une certaine vitesse; comme l'expérience ne dure que trois ou quatre minutes, on peut négliger le mouvement de rotation de la Terre.

Le gyroscope marin se compose de deux parties principales : 1° le gyroscope proprement dit ou mobile, tournant avec son

système de suspension de Cardan ; 2° le rouage destiné à lui donner un mouvement de rotation rapide autour de son axe.

L'anneau vertical B (*fig.* 1) qui supporte le tore peut se mouvoir avec la plus grande facilité autour d'un axe vertical, lorsqu'il est au repos ; cet anneau est terminé à sa partie supérieure par un prolongement qui dépasse l'anneau de suspension de Cardan B' et porte à son extrémité une alidade à pinnules DD', laquelle se trouve au-dessus et très-près d'un plateau divisé E ; dans l'état de repos, la pinnule peut donc se mouvoir autour d'un axe vertical, en parcourant tous les points de l'horizon ; lorsque le tore tourne rapide-

Fig. 1.



ment, le plan déterminé par le mobile et, par suite, celui de la pinnule seront maintenus fixes dans l'espace, et, si le bâtiment se déplace à gauche ou à droite, le plateau divisé, entraîné dans le mouvement, se déplacera par rapport au plan de l'alidade.

Quand on veut animer le gyroscope du mouvement de rotation nécessaire pour obtenir la fixité du plan dont il vient d'être question, on se sert d'un rouage mû par une manivelle, dont le bâti peut s'élever et s'abaisser à volonté pour embrayer ou désembrayer le dernier mobile avec l'un des pignons, fixés vers les extrémités de l'axe du tore.

Pour effectuer l'embrayage, on soulève le rouage, on l'amène près d'un des pignons du tore, et on l'accroche à la cheville disposée à cet effet; on peut alors tourner la manivelle, en augmentant la vitesse progressivement jusqu'à atteindre environ celle d'un tour en trois secondes, ce qui correspond à une vitesse de cent vingt-cinq tours au tore; on quitte la manivelle, et, prenant le bouton du levier qui porte la cheville dont il a été question, on l'écarte vivement sans hésitation autant que possible, et sans toucher à aucun autre organe de l'appareil. Le rouage quitte instantanément le gyroscope et tombe dans sa position inférieure; l'appareil est en état de fonctionnement, et voici dans quelles circonstances il pourra être employé avec avantage.

Lorsqu'un navire quitte une rade, il gouverne à un certain rhumb de vent du monde indiqué par le compas d'habitacle, dont on connaît la variation pour ce cap.... On sait que la déclinaison de l'aiguille aimantée a des valeurs différentes dans un même lieu à bord d'un navire, suivant qu'il se dirige sur un cap ou sur un autre; c'est ce qu'on appelle la *variation*.

Lorsque le capitaine du navire juge convenable de changer de route et de venir de 30° par exemple sur bâbord, le compas d'habitacle, en raison des variations différentes qui existent pour chaque cap, ne peut lui servir pour le changement de route que s'il a un Tableau exact des variations qui conviennent au lieu et à la latitude où se trouve le navire.

L'emploi du gyroscope permet de se passer de ce Tableau.

Un instant avant d'agir sur la barre du gouvernail pour venir de 30° sur bâbord, le tore est mis en mouvement et n'est abandonné à lui-même que lorsque le navire va commencer son évolution. Un premier observateur surveille l'index de l'alidade. Un deuxième surveille la rose du compas et crie *Stop*, au moment où il voit le navire bien au cap indiqué par la rose au moment de la sortie du port. L'observateur du gyroscope note soigneusement l'indication de l'index de l'alidade : c'est le point de départ à partir duquel il doit compter 30°.

La barre du gouvernail est alors mise à tribord; le navire vient sur bâbord, et l'observateur suit le mouvement de son alidade. Un peu avant que les 30° soient décrits, la barre est mise droite; le navire continue à venir encore un peu sur bâbord, et l'observateur

du gyroscope crie *Stop* au moment exact où il voit les 30° accomplis. L'observateur du compas note l'indication de la rose à ce *Stop*, puis on continue à gouverner pendant trois ou quatre minutes, de manière à maintenir le cap du navire aux 30° du gyroscope. On peut ainsi avoir d'une manière suffisamment exacte le cap magnétique du compas, qui correspond à la route donnée par le gyroscope.

On le laisse alors de côté et l'on continue à gouverner à ce cap magnétique, dont on connaît le cap vrai, jusqu'à ce que le capitaine veuille changer de route.

On pourrait se servir aussi du gyroscope pour dresser dans le port, en rade ou à la mer, une Table de variations ; il suffira de faire tourner le navire sur lui-même, après avoir mis le gyroscope en mouvement, et de répéter l'opération indiquée ci-dessus pour les caps vrais, considérés de 10° en 10° par exemple.

Le gyroscope conservant un mouvement rapide de rotation pendant douze ou quinze minutes, temps supérieur à celui employé par un navire sous vapeur pour faire un tour sur lui-même, on pourra ainsi dresser en une seule fois la Table des variations.

Sur un phénomène nouveau d'électricité statique;
par M. E. Duter.

L'expérience dont voici la description prouve que, dans certains cas, l'électrisation peut changer le volume des corps.

Pour faire cette expérience, on se procure un tube de verre AB (*fig.* 1) terminé en CD par une tige thermométrique très-étroite; à l'intérieur de ce tube pénètre un fil de platine E. Le tube AB est enveloppé par un second tube également en communication avec un tube thermométrique GH; à l'intérieur de ce deuxième tube pénètre également un fil de platine F.

On remplit d'un liquide conducteur quelconque, eau, mercure, solutions salines ou acides, l'intérieur du tube AB et la capacité comprise entre ce tube et son enveloppe. Dans cette disposition, le liquide du réservoir intérieur forme l'armature interne d'un condensateur, le liquide de l'enveloppe en forme l'armature

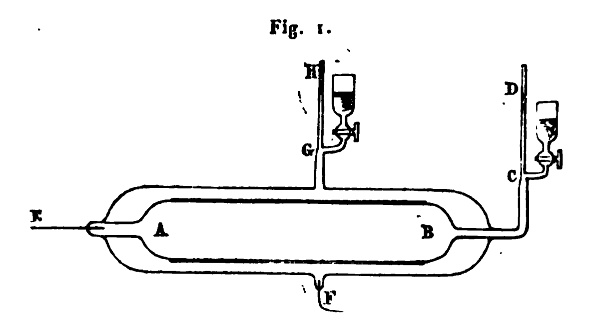
externe, et le verre intérieur en est la lame isolante. Pour charger ce condensateur, il suffit de mettre chacun des fils de platine E et F en communication avec les pôles d'une machine électrique.

Aussitôt que l'appareil reçoit la charge, on voit l'eau descendre dans le tube thermométrique du vase intérieur et monter d'une quantité sensiblement égale dans le tube mesureur de l'enveloppe. Aussitôt que l'on décharge l'appareil, tout rentre dans l'état primitif : le liquide qui était descendu dans le tube du vase intérieur remonte, et celui qui était monté dans le tube de l'enveloppe redescend. Il faut donc conclure que, pendant la charge d'une bouteille de Leyde, la capacité intérieure et le volume extérieur croissent.

Pour ne laisser aucun doute au sujet de cette conclusion, je vais passer en revue les objections que l'on peut y faire :

1° On ne peut attribuer cet effet à une augmentation de tempé-

Fig. 1.



rature, puisque la décharge le fait disparaître immédiatement au lieu de l'accroître.

2° On pourrait parler de la pression électrique, mais elle serait la même sur les deux faces du diélectrique, dont elle *diminuerait* le volume, ce qui est contraire à l'effet observé.

3° On peut dire aussi que le liquide ne mouille pas parfaitement le verre avant l'électrisation, et que, après, par suite de l'attraction, il se produit un contact plus intime donnant lieu à une contraction apparente du liquide; mais alors le même phénomène devrait se produire pour le liquide extérieur, ce qui n'a pas lieu.

4° On pourrait encore parler de propriétés différentes des armatures positives et négatives; mais, si l'on intervertit les communications de l'appareil avec la machine électrique, le sens du phénomène ne change pas.

En résumé, il est établi que, dans une bouteille de Leyde, la lame isolante subit par l'électrisation une dilatation qui ne peut s'expliquer ni par un accroissement de température, ni par une pression électrique.

On se trouve donc en présence d'un phénomène nouveau; quant à l'interprétation qui s'en peut donner, bien qu'il s'en présente plusieurs à l'esprit, il serait prématuré de les discuter. Pour le moment, je m'occupe de prendre les mesures des variations de volume du diélectrique corrélatives des potentiels de l'appareil.

SÉANCE DU 20 DÉCEMBRE 1878.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Damien, professeur de Physique au lycée de Lille; Maneuvrier, agrégé des Sciences, attaché à l'École des Hautes-Études, à Paris; Morel, maître de conférences à la Faculté de Médecine de Lille; Richet (Ch.), professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris; Sautter fils (Gaston), ingénieur à Paris; Witz (Aimé), ingénieur civil à Lille.

M. le Secrétaire général présente, au nom de M. Bourseul, une forme nouvelle de microphone. Ainsi qu'on a pu s'en convaincre, à l'aide de cet appareil le timbre de la voix est beaucoup moins modifié que lors de la transmission par deux téléphones.

M. Aymonnet décrit la méthode qu'il a imaginée dans ses recherches sur la chaleur rayonnante pour graduer les galvanomètres.

M. Joubert expose les recherches qu'il a faites sur la variation du pouvoir rotatoire du quartz avec la température.

M. Gernez, à propos de cette communication, rend compte de recherches qu'il a faites sur le même sujet.

D'un nouvel appareil, l'électrophone; par M. Bourseul.

Cahors, le 23 novembre 1878.

Monsieur le Secrétaire général,

J'ai l'honneur de vous adresser aujourd'hui un électrophone que je vous prie d'essayer et ensuite de présenter, si vous le jugez convenable, à la Société de Physique. Le résultat donné par cet instrument est très-satisfaisant; la parole est reproduite avec netteté et précision.

Il est formé d'un cadre de bois sur les deux faces duquel sont collées deux feuilles de placage de frêne. L'intervalle est rempli de poudre de coke, convenablement choisie et tamisée très-fine. Le coke, tout en étant suffisamment conducteur, présente très-peu de densité, ce qui permet de l'utiliser avec des plaques de bois très-minces. C'est à cela que j'attribue la délicatesse avec laquelle les moindres nuances de prononciation se trouvent reproduites. Au milieu de chacune des feuilles de placage est enchâssé un contact de charbon de cornue. Les faces de ces charbons sont à l'intérieur de l'appareil, à 2 ou 3 millimètres de distance l'un de l'autre. Une pile, un téléphone récepteur et l'électrophone forment un circuit. C'est devant l'une des faces de l'électrophone que l'on parle.

En télégraphie cet appareil pourrait rendre de grands services, parce qu'il ne comporte pas de réglage : il est toujours prêt à fonctionner.

....

Veuillez, etc. Bourseul.

Graduation des galvanomètres; par M. Aymonnet.

Pour graduer un galvanomètre, j'emploie une méthode fondée sur les propriétés des substances diathermanes. A cet effet, je laisse arriver à travers une lentille, sur la pile ayant une position déter-

minée, les radiations émanant d'une source. La pile recevra une quantité de chaleur Q ; la déviation correspondante sera A. Interposons entre la lentille et son foyer un corps diathermane : la quantité de chaleur reçue par la pile sera q et la déviation correspondante a.

Si l'on néglige l'absorption due à l'air situé entre la pile et le corps diathermane, sur le passage du rayonnement, on aura toujours, quelle que soit la position de la pile, $\frac{q}{Q} = k$, k étant le coefficient de transmissibilité du corps diathermane ; et, si les déviations galvanométriques A et a sont proportionnelles à Q et q, on aura également $\frac{a}{A} = k$.

Or, on sait que cette proportionnalité n'existe qu'autant que les déviations sont comprises entre deux limites angulaires M et M'. Pour trouver des déviations voisines de ces deux limites, employons un corps diathermane dont le coefficient k est voisin de 1, par exemple une lame de verre, si notre lentille est de crown, et donnons à la pile des positions 1, 2, 3, 4, ..., telles que les déviations soient $A_1, A_2, A_3, A_4, \ldots, A_n, A_{n+i}$ sans l'interposition de la lame, et $a_1, a_2, a_3, a_4, \ldots, a_n, a_{n+i}$ lors de son interposition ; A_1 étant très-près de 1° et plus petit que A_2, $A_2 < A_3$, etc. ; a_2 étant compris entre a_1 et A_1, a_3 entre a_2 et A_2, ... ; prenons les rapports $\frac{A_1}{a_1}, \frac{A_2}{a_2}, \ldots$, jusqu'à ce que nous en trouvions une série $\frac{A_n}{a_n}, \frac{A_{n+1}}{a_{n+1}}, \ldots, \frac{A_{n+i}}{a_{n+i}}$, dont les termes diffèrent très-peu l'un de l'autre. La moyenne de ces derniers rapports sera très-voisine de $\frac{1}{k}$; les quantités a_n et A_{n+i} seront proches des limites M et M', et les déviations intermédiaires représenteront les intensités calorifiques qui les produisent.

A_{n-1} étant compris entre a_n et A_n, pour avoir la mesure de a_{n-1}, il suffira de diviser A_{n-1} par $\frac{1}{k}$; l'erreur que l'on commettra sur la détermination de l'intensité correspondante à a_{n-1} sera plus petite que l'erreur de lecture commise sur A_{n-1}. Par une proportion, on trouve l'intensité correspondante à A_{n-2}, puis à l'aide de cette inten-

sité et de $\frac{1}{k}$ on détermine la mesure de a_{n-2}, etc., jusqu'à ce qu'on ait trouvé les intensités correspondantes à A_1 et a_1.

Pour trouver la mesure des déviations supérieures à A_{n+i}, nous prenons un corps moins diathermane que le précédent, ayant un coefficient de transmissibilité k' tel que $\frac{1}{k'}$ soit compris entre 2 et 4. Nous déterminons $\frac{1}{k'}$ à l'aide de deux déviations $A'_{n'}$ et $a'_{n'}$ comprises entre a_1 et A_{n+i}; et, enfin, pour avoir la mesure de $A'_m > A_{n+i}$, nous multiplions par $\frac{1}{k'}$, a'_m, que nous supposons $< A_{n+i}$.

Le tableau des déviations et des intensités correspondantes étant dressé, nous en construisons la courbe et notre galvanomètre est calibré pour la mesure des quantités de chaleur reçues par la pile. Pour vérifier ce calibrage, il suffit de le faire à nouveau avec des corps diathermanes différents. Je me suis servi pour cela de lames de verre et d'auges remplies de benzine ou d'alcool.

Lorsqu'on a un galvanomètre à fil fin, ordinaire et bien construit, on trouve, si l'aiguille supérieure est très-rapprochée du disque de cuivre, que l'intervalle compris entre M et M' est d'autant plus petit et plus éloigné du zéro, que la distance de l'aiguille supérieure au disque de cuivre est plus petite. Pour une distance de $0^{mm},4$, $M = 10°$, $M' = 15°$; dans ce cas, entre zéro et 10°, la proportionnalité n'existe pas. Le Tableau suivant donne, pour différentes distances, les intensités correspondant aux déviations comprises entre 0° et 10° :

	Déviation.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distances.	Intensités.									
mm 0,4....	1	2,1	3,4	4,5	5,55	6,5	7,4	8,15	9,05	10
0,6....	1	2,10	3,4	4,5	5,50	6,5	7,3	8,05	9,00	10
1,5....	1	2,05	3,1	4,12	5,15	6,12	7,05	8,0	9,00	10
2......	1	2,00	3,0	4,00	5,00	6,00	7,00	8,0	9,00	10

Cette non-proportionnalité entre les déviations et les intensités a pour cause et la fente pratiquée dans la bobine et le disque de

cuivre, et les paquets de fil formés dans le voisinage de cette fente.

En élevant l'aiguille, on rend les actions élémentaires des spires de fil, de plus en plus faibles par rapport à l'action totale. Le fil du galvanomètre que j'ai gradué a un diamètre compris entre $0^{mm},3$ et $0^{mm},4$.

En élevant l'aiguille de 2^{mm} au-dessus du disque de cuivre, on a la proportionnalité entre zéro et 12°, et la sensibilité du galvanomètre n'est pas diminuée. Lorsque le galvanomètre est à fil dépassant 1^{mm}, l'aiguille doit être soulevée encore plus pour avoir la proportionnalité à partir de zéro. Dans ce cas, lorsque la distance de l'aiguille supérieure au disque de cuivre est de 2^{mm}, la courbe des rapports $\frac{A}{a}$ est très-sinueuse.

Afin de voir si une Table de graduation, faite pour mesurer les quantités de chaleur tombant sur la pile, peut servir à mesurer des intensités de courant, j'ai placé la pile dans une position fixe, de telle sorte que Q et q fussent constants et, par suite, donnassent naissance à des forces électromotrices constantes; puis j'ai gradué le galvanomètre d'une manière analogue à la précédente, en établissant entre les deux bornes du galvanomètre un fil de dérivation de plus en plus long. J'ai trouvé pour différentes positions de l'aiguille entre zéro et 30° les mêmes Tables que précédemment; entre 36° et 40°, les écarts d'intensité atteignaient au maximum 0°,4; on peut attribuer ces divergences aux erreurs de lecture.

Cette concordance entre les deux ordres de Tableaux vérifie en même temps la proportionnalité entre les quantités de chaleur reçues par la pile et les intensités des courants qu'elles produisent, lorsque la température de l'enceinte n'éprouve des variations que de 2° à 5°.

Sur le pouvoir rotatoire du quartz et sa variation avec la température; par M. J. Joubert.

On ne connaît guère que pour les températures inférieures à 100° l'influence de la chaleur sur les propriétés optiques des corps

transparents. Je me suis proposé de pousser cette étude jusqu'à ses dernières limites, c'est-à-dire jusqu'au point où le corps soumis à l'expérience change nécessairement d'état. La difficulté était d'obtenir de bonnes images à ces températures élevées. L'expérience m'a montré que, pour y réussir, il suffit d'opérer à température constante et dans l'air raréfié : on peut alors reproduire les phénomènes les plus délicats de l'Optique avec autant de perfection qu'à la température ordinaire.

Je donnerai dans cette Note les résultats relatifs au pouvoir rotatoire du quartz.

Ce pouvoir varie avec la température. Sa variation entre 0 et 100° a été déjà mesurée par M. Fizeau (1) avec la lumière jaune de la soude, par M. V. de Lang (2) avec celles du lithium, du sodium et du thallium, pour lesquelles il a trouvé le même coefficient de variation; enfin, tout récemment, M. Sohncke (3) a donné la courbe des variations entre 0 et 100° pour le quartz et le chlorate de soude. Entre ces limites, mes nombres coïncident avec ceux de ces deux derniers physiciens; mais mes expériences s'étendent beaucoup plus loin et vont de —20° à 1500° environ.

Le quartz est placé dans un tube de verre ou de porcelaine (*fig.* 1), suivant les cas, fermé par des glaces à ses extrémités et muni d'une tubulure qui permet d'y faire le vide; et, pour le porter à température constante, j'emploie la vapeur d'un liquide bouillant sous la pression de l'atmosphère. L'étuve est un cylindre en métal, traversé suivant un diamètre par un tube métallique soudé par ses extrémités aux parois du vase. C'est dans ce tube métallique que s'engage le tube de porcelaine, et un peu de lut empêche l'air de circuler dans l'intervalle des deux tubes. Le cylindre est installé dans un fourneau convenable; un tube de plomb de petit diamètre, traversé par un courant d'eau froide, s'enroule de chaque côté autour du tube et empêche l'échauffement des extrémités; enfin

---

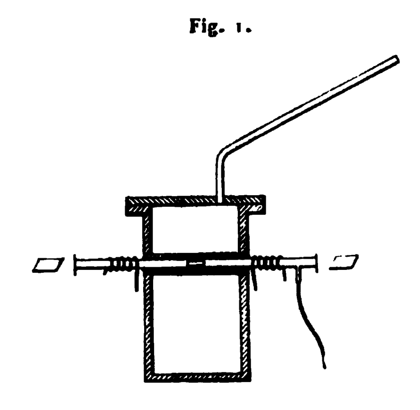
(1) Fizeau, *Recherches sur la dilatation et la double réfraction du cristal de roche* (*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. II, p. 176).

(2) V. de Lang, *Ueber die Abhängigkeit der Circularpolarisation des Quartzes von der Temperatur* (*Ann. de Pogg.*, Bd. CLVI, p. 422; 1875).

(3) Sohncke, *Ueber den Einfluss der Temperatur auf das optische Drehvermögen des Quartzes und des Chlorsauren Natrons* (*Ann. der Physik und der Chemie*, neue Folge, Bd. III, p. 516; 1878).

un système d'écrans protége les glaces et les appareils de mesure contre le rayonnement du fourneau. Pour les températures moyennes (alcool, 78°,26; eau, 100°; aniline, 183°,5), l'étuve était en cuivre rouge et munie d'un réfrigérant Liebig; pour les températures plus élevées (mercure, 360°; soufre, 448°; cadmium, 840°), elle est en fer forgé. C'est une bouteille à mercure, coupée à la partie supérieure et munie d'un couvercle avec un tube qui s'élève obliquement (¹). Ici le réfrigérant est inutile; l'action de l'air suffit pour condenser les vapeurs; celles-ci retombent dans

Fig. 1.



la cornue à l'état liquide, sans qu'il y ait danger d'obstruction. Avec le cadmium, le tube devient rouge sur une longueur de $0^m,30$ à $0^m,40$.

Pour les températures supérieures au point d'ébullition du cadmium, j'ai eu recours à l'obligeance de M. Deville, qui a bien voulu mettre à ma disposition un fourneau chauffé aux huiles lourdes de pétrole, lequel m'a permis de porter le quartz jusqu'à la température du ramollissement de la porcelaine.

Le quartz, étant très-mauvais conducteur, demande à être chauffé avec beaucoup de précaution : toute variation un peu brusque de température le fait éclater. J'ajoute qu'aux températures les plus élevées il garde une transparence parfaite, tout en présentant un

---

(¹) Ce dispositif est celui qui est employé par MM. Deville et Troost, et qu'ils ont décrit dans leur Mémoire sur les densités de vapeur (*Annales de Chimie et de Physique*, 3ᵉ série, t. LVIII, p. 257.)

faible pouvoir émissif. Vu sur un fond noir, il apparaît comme lavé par une teinte rose extrêmement légère.

J'ai employé plusieurs procédés pour mesurer le pouvoir rotatoire, et, en premier lieu, le procédé classique de MM. Fizeau et Foucault. Pour plus de précision, le rayon polarisé dans un plan vertical traversait le prisme avant de tomber sur le quartz. J'ai constaté, par cette méthode, qu'à la température d'ébullition du soufre le rapport des rotations pour les raies C, D et F est le même qu'à la température ordinaire. Il suffit donc d'étudier la variation pour une raie quelconque. La plupart des expériences ont été faites avec la lumière de la soude et le polarimètre de Laurent.

Dans cet appareil, le rayon primitivement polarisé traverse un diaphragme circulaire dont une des moitiés seulement est recouverte par une lame biréfringente parallèle à l'axe, d'une épaisseur d'une demi-onde, et dont l'arête parallèle à la section principale fait un angle très-petit avec le plan de polarisation primitif. Les rayons émanés des deux moitiés du disque sont polarisés dans des plans symétriques par rapport à l'arête, et l'angle qu'ils font entre eux reste constant, quelle que soit ensuite la rotation commune que leur imprime la substance douée de pouvoir rotatoire. Vues à travers un analyseur, les deux moitiés du disque auront des intensités égales toutes les fois que la section principale de l'analyseur coïncidera avec le plan bissecteur des deux plans de polarisation. Ce procédé est très-précis, et, avec le mode d'éclairage adopté par M. Laurent, sa précision absolue est à peu près indépendante de la rotation observée. Les lectures d'un même angle diffèrent rarement de plus de 1'.

Les expériences ont porté sur dix échantillons de quartz, de provenances différentes, les uns droits, les autres gauches, et dont l'épaisseur variait de $0^m,015$ à $0^m,040$. On s'était assuré, par les procédés connus, de la pureté des échantillons, du parallélisme des faces et de leur exacte perpendicularité à l'axe. La plus grande difficulté des expériences est dans le réglage des appareils : il faut que le rayon de lumière traverse le quartz exactement suivant son axe; la moindre déviation entraîne des erreurs considérables. J'ai essayé plusieurs procédés de vérification : l'un d'eux, très-exact, était, avec une légère modification, nécessitée par la disposition des appareils, le procédé qui permet de reconnaître avec l'appareil

de Nörremberg et les spirales d'Airy si un quartz est perpendiculaire à l'axe; celui auquel je me suis arrêté, et qui, plus simple, est tout aussi exact quand on s'est assuré, au préalable, que la face du cristal est bien perpendiculaire à l'axe, est de vérifier que le rayon tombe normalement à la face d'entrée. Il suffit pour cela, la lunette d'observation étant réglée pour l'infini, d'amener les images du réticule données par les deux faces du cristal à coïncider avec le réticule lui-même; il n'y a plus alors qu'à changer le point de la lunette et amener le centre du diaphragme que l'on vise à coïncider avec le centre du réticule. J'ai reconnu, par de nombreuses expériences, que tous les échantillons de quartz présentent une identité parfaite au point de vue du pouvoir rotatoire à toute température, et qu'un même échantillon, porté aux plus hautes températures, reprend, après refroidissement, son pouvoir primitif (1).

De — 20° à 1500°, le pouvoir rotatoire du quartz augmente d'une manière continue avec la température. L'effet observé est la résultante de deux autres: l'augmentation due à l'accroissement de l'épaisseur du cristal par le fait de la dilatation, et l'augmentation due à l'accroissement du pouvoir rotatoire lui-même. Ce dernier effet est environ vingt fois plus grand que le premier, tout au moins entre 0 et 100°, les seules limites dans lesquelles on connaisse la dilatation du quartz. Il serait intéressant de connaître cette dilatation jusqu'aux plus hautes températures; je m'occupe en ce moment de cette détermination.

La courbe des variations du pouvoir rotatoire du quartz avec la température présente quelques particularités remarquables. Entre — 20° et 100°, elle est très-exactement représentée par la formule

$$\rho = \rho_0 (1 + 0{,}000146324\,t + 0{,}0000000329\,t^2);$$

son coefficient angulaire croît jusqu'à 300°; de cette température à celle de l'ébullition du cadmium il reste sensiblement constant, et la courbe se confond presque avec une ligne droite, en présentant un point d'inflexion vers 100°. Au delà de 840°, à 1000° en-

(1) Un quartz qui avait une légère teinte brune est devenu tout à fait incolore après quelques heures d'exposition à une température d'environ 1500°; il n'y a eu aucune modification dans la valeur de son pouvoir rotatoire.

viron, la courbe change brusquement d'allure ; le pouvoir rotatoire, qui variait si rapidement, ne croît plus, jusqu'à 1500°, qu'avec une lenteur extrême. On ne peut manquer d'être frappé de l'analogie de cette courbe avec celle qui représente l'intensité d'aimantation du fer doux en fonction de l'intensité du courant, et il est évident qu'on pourra la représenter également par un arc dont la tangente est une fonction de la température. Si je n'ai pas encore fait ce calcul, c'est que je désirerais déterminer quelques autres points de la courbe, ainsi un point à une température très-basse, quelques autres entre le point d'ébullition du soufre et celui du cadmium, enfin quelques points au delà de cette dernière température.

Voici, d'ailleurs, quelques nombres qui compléteront, en les précisant, les indications qui précèdent :

Températures.	Pouvoir rotatoire de 1mm de quartz.	Coefficient moyen à partir de zéro.	Rotation d'un quartz de 46mm environ.
°			°
— 20	21,599	»	997,3
0	21,658	»	1000,0
100	21,982	0,000149	1014,9
350	23,040	0,000182	1063,8
448	23,464	0,000186	1083,4
840	25,259	0,000190	1166,2
...	......	....	......
1500?	25,420	»	1173,7

La dernière colonne montre que, pour l'épaisseur de quartz qui donnerait une rotation de 1000° à 0, l'augmentation de 300 à 900° C. est d'environ 20°,5 C. par 100, soit 12′ par degré C.; comme on saisit une variation de 1′, le $\frac{1}{12}$ de degré C. à ces températures élevées devient une quantité appréciable. Un quartz de 0m,005 d'épaisseur suffirait pour donner le degré.

Le quartz, par son pouvoir rotatoire, constitue donc un thermomètre d'une sensibilité extrême, satisfaisant d'ailleurs à la condition essentielle de tout thermomètre, la comparabilité. Au delà de 1000°, la sensibilité ne serait plus suffisante ; mais, jusqu'à cette température, je crois que le nouvel instrument peut rendre de très-grands services. Son volume peut être réduit à de très-petites dimensions (1), et, l'appareil une fois installé, il suffit, pour avoir

(1) Dans des recherches en cours d'exécution, je me sers, comme thermomètre, d'un

une température, de la simple lecture d'un angle et de l'emploi d'une Table calculée une fois pour toutes : il devient alors, pour la simplicité de son emploi et la sûreté de ses indications, un instrument comparable au thermomètre à mercure.

Note sur l'étude du pouvoir rotatoire du quartz à diverses températures; par M. D. Gernez.

L'augmentation du pouvoir rotatoire du quartz avec la température, signalée pour la première fois par M. Dubrunfaut et étudiée par divers physiciens, a été récemment l'objet d'un travail nouveau dont M. Joubert a fait connaître les premiers résultats. J'avais commencé, il y a plusieurs années, l'étude de cette question, après que j'eus reconnu que le pouvoir rotatoire des substances actives varie considérablement avec la température, mais que la loi de dispersion des plans de polarisation des diverses radiations lumineuses qui traversent ces substances reste la même à toutes températures, que le corps soit liquide ou qu'il soit réduit en vapeurs. Les ressources dont je disposais ne m'ont pas permis de terminer cette étude, et je n'en parlerais pas si le procédé d'investigation dont je me suis servi, différent de celui qu'ont employé les autres physiciens, y compris M. Joubert, n'éliminait la plupart des difficultés que présentent ces recherches et ne les rendait susceptibles d'une plus grande précision.

Pour mesurer le pouvoir rotatoire d'une plaque de quartz, il est indispensable de l'orienter de façon à la faire traverser par le rayon lumineux suivant l'axe du cristal; or, le quartz introduit au sein d'un foyer n'est pas facilement accessible.

D'un autre côté, les variations du pouvoir rotatoire avec la température sont relativement faibles (d'environ un tiers de degré par millimètre pour une variation de température de 100°); il faut donc, pour que l'augmentation de la rotation soit une quantité

---

petit quartz de 8mm de diamètre et 15mm de longueur. Pour éviter les variations trop brusques de température, je le place dans un cylindre de cuivre rouge un peu épais qui fait l'office de régulateur.

très-grande relativement aux erreurs expérimentales, que l'épaisseur de la lame de quartz dépasse 1^c, et, dans ce cas, la rotation a une valeur absolue considérable. La détermination d'une telle rotation n'est plus alors susceptible d'une grande précision : en effet, si l'on mesure pour les diverses radiations les rotations du plan de polarisation par la méthode de MM. Fizeau et Foucault, les bandes que l'on aperçoit dans le champ de la lunette sont très-serrées, et il faut tourner l'analyseur d'un angle très-grand pour déplacer d'une quantité très-petite la bande que l'on veut amener sous le fil du réticule. Si l'on ne cherche que la valeur de la rotation pour une radiation déterminée, celle de la soude, par exemple, on constate que, pour peu que la flamme de la soude soit intense, elle n'est plus homogène et le mouvement de l'analyseur fait apparaître une image colorée.

Voici comment j'ai remédié facilement à ces deux inconvénients. J'ai fait tailler, par M. Soleil, deux quartz perpendiculaires à l'axe, d'égale épaisseur, mais de rotations contraires, dont l'ensemble produit sur la lumière polarisée une rotation nulle. Je les ajuste aux deux extrémités d'un tube, et je les oriente de façon que leurs axes se confondent, ce qui se fait sans difficultés, et je les fixe dans cette position. J'introduis l'un d'eux au sein du foyer à température élevée, l'autre étant maintenu au dehors à une température invariable; de cette manière, l'orientation du cristal chauffé est très-facile, puisque le cristal extérieur, solidaire du premier, est accessible.

La source calorifique étant depuis longtemps en pleine activité, à cause de la mauvaise conductibilité du quartz, si l'on fait traverser le système par un rayon de lumière polarisée, on observe que la rotation du plan de polarisation, nulle avant l'action du foyer, prend une valeur qui est simplement l'effet de l'augmentation du pouvoir rotatoire du cristal chauffé. La rotation que l'on constate est, en valeur absolue, peu considérable; elle est évidemment la même que la variation angulaire observée dans les expériences de M. Joubert, mais elle peut être mesurée avec une grande précision.

Considérons, par exemple, une plaque de quartz dont l'épaisseur soit de 1^c; elle produira sur les rayons correspondant à la raie C une rotation dont la valeur absolue sera, à la température

ordinaire, de 173°,5, et sur les rayons correspondant à la raie G une rotation de 426°,9; il faudra donc tourner l'analyseur de 426°,9 — 173°,5 ou de 253°,4 pour faire parcourir à la bande noire que l'on considère l'espace compris sur le spectre entre les deux raies C et G; par suite, le pointé sera très-incertain. Or, les variations de ces rotations pour une élévation de température de 100° seront environ de 3° pour la rotation relative à la raie C et de 7° pour la rotation relative à la raie G, de sorte que l'on aura, si l'on opère comme M. Joubert, à mesurer, après l'échauffement, des rotations de 176°,5 et de 434° environ, et les quantités qu'il importe réellement de connaître avec une grande précision, c'est-à-dire les rotations 3° et 7°, ne seront connues qu'avec l'approximation très-insuffisante de la mesure des rotations de 176°,5 et 434°.

En se servant, au contraire, des deux quartz opposés, dont un seul est chauffé, les rotations que l'on mesure pour les diverses raies du spectre sont précisément les variations déterminées par l'élévation de la température, c'est-à-dire, dans le cas considéré, les angles de 3° et de 7°; ainsi, pour une rotation de l'analyseur de 7° — 3° ou de 4°, la bande noire franchira l'espace compris dans le spectre entre les raies C et G, et l'on pourra mesurer les rotations avec une erreur de $\frac{1}{100}$ seulement de leur valeur, si l'on prend les précautions que j'ai indiquées dans un Mémoire publié dans les *Annales scientifiques de l'École Normale supérieure*, 1re série, t. I, p. 17.

ALLOCUTION DE M. BLAVIER,

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ

(SÉANCE DU 3 JANVIER 1879).

Permettez-moi de vous exprimer ma reconnaissance pour l'honneur que vous avez bien voulu me faire en me confiant la présidence de notre Société pendant l'année qui vient de s'écouler. Cet honneur, du reste, je me hâte de le reconnaître, s'adressait moins à moi qu'à l'ensemble de mes camarades et collègues de l'Administration des lignes télégraphiques, qui font en assez grand nombre partie de la Société de Physique.

Au commencement de l'année dernière, nous avons eu la douleur de perdre trois illustres savants, membres honoraires tous les trois de notre Société, MM. Becquerel, Regnault et le P. Secchi, dont les travaux sont trop connus et les noms trop célèbres pour que j'aie à rappeler, dans une réunion de physiciens, les titres qu'ils ont au souvenir et à la reconnaissance du monde savant.

Malgré ces pertes cruelles, notre Société a continué à prospérer à tous les points de vue.

Le nombre de ses membres s'est notablement accru, et à chaque réunion nous sommes appelés à voter sur l'admission de nouveaux collègues.

Nos séances sont suivies avec une assiduité qui nous fait parfois regretter que la salle où elles se tiennent ne soit pas plus vaste, ce qui prouve tout l'intérêt des Communications qui nous sont faites. C'est que, en effet, dans l'histoire de la Physique, on ne trouve aucune époque comparable à l'époque actuelle par l'importance et la diversité des découvertes.

La lumière électrique, qui n'était utilisée que dans des circonstances exceptionnelles, éclaire aujourd'hui, grâce aux bougies Jablochkoff, nos rues principales et nos grands magasins.

Un certain nombre de gaz avaient résisté jusqu'ici à tous les efforts tentés pour les liquéfier. MM. Cailletet et Raoul Pictet les ont tous fait rentrer dans la loi commune et sont même parvenus à montrer l'hydrogène à l'état solide.

Le téléphone, cette merveilleuse invention de Bell, à laquelle l'esprit se refusait de croire, qui transmet la parole à toute distance par un conducteur télégraphique, est actuellement dans toutes les mains.

Les microphones de Hughes et d'Edison ont ouvert un nouveau champ d'expériences aux chercheurs, qui les ont déjà appliqués à l'étude des phénomènes les plus délicats.

Enfin, le phonographe d'Edison, même en admettant qu'il ne trouve pas un emploi dans la pratique journalière, nous a montré la réalisation d'un problème cherché depuis longtemps et qui paraissait insoluble : la reproduction et l'enregistrement de la voix humaine.

Toutes ces découvertes, qui rendront l'année 1878 mémorable dans les annales de la Science, montrent que nous sommes encore loin de la limite que peut atteindre le génie humain.

L'Exposition universelle nous a fourni l'occasion de resserrer les liens de confraternité qui nous unissent aux savants de tous les pays, et, pour ma part, je conserverai toujours le souvenir d'avoir siégé à côté de MM. William Thomson et Broch.

La Société de Physique se trouve donc dans une situation des plus prospères; il lui reste cependant un progrès à réaliser. Ce progrès, indiqué l'an dernier par mon prédécesseur, consiste à obtenir du Gouvernement une déclaration d'utilité publique. C'est à cette condition qu'elle sera établie sur des bases solides, qu'elle pourra recevoir des dotations et avoir un budget qui lui permette de consacrer des fonds à l'avancement de la Science.

Notre Secrétaire général, toujours si dévoué aux intérêts de la Société qu'il a contribué à fonder, a pris des renseignements desquels il résulte qu'une Société obtient facilement la reconnaissance d'utilité publique si elle compte un nombre assez grand de membres à vie. La liste que nous avons à présenter ne suffit pas pour qu'une démarche officielle aboutisse avec certitude. Permettez-moi d'appeler sur ce point votre attention et d'espérer que l'obstacle que je signale sera bientôt levé.

Il ne me reste plus, Messieurs, qu'à vous remercier une dernière fois de votre bienveillant concours et à remettre la présidence à mon illustre successeur, M. Berthelot.

CATALOGUE

DE LA

BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1874 à 1878), in-4°.
Annales de Physique et de Chimie (1873 à 1878), in-8°.
Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1873 à 1878), in-4°.
Annales télégraphiques (3e série, 1874 à 1878), in-8°.
Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (1874 à 1877), in-4°.
Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1878), in-8°.
Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1878), in-8°.
Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1873 à 1878), in-18.
L'Aéronaute (juillet 1877 à décembre 1878), in-8°.
Société de Biologie (1869 à 1872), in-8°.
Annuaire de la Société d'Encouragement (1877).
Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1874 à 1877), in-4°.
Próceeding's of the Royal Society (t. XXIII, nos 156 à 159; t. XXIV à XXVI, nos 164 à 183, 24 liv.), in-8°.
Philosophical Magazine (1873 à 1878), in-8°.
Annales de Poggendorff (1873 à 1878), in-8°.
Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (1875, depuis le n° 5, à 1878), in-8°.
Journal of the Society of Telegraph Engineers (1872 à 1877), in-8°.
The Physical Society of London. Proceedings (mars 1874 à juin 1878), in-8°.
Fortschritte der Physik (1845 à 1873, t. I à XXIX), in-8°, table des t. I à XX.
Bullettino Meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano (1877 à 1878), in-4°.
Rivistà scientifico-industriale, compilata per M. *G. Vimercati*, anno V (janvier à mai 1873).
Crónica Cientifica Barcelone (1878, t. I), in-8°.
Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. *Henri de Senarmont*, *Émile Verdet* et *Léonor Fresnel*, 3 vol. in-4°, 1861.

Œuvres de E. Verdet, publiées par les soins de ses élèves, 9 vol. in-4°, 1869.

Œuvres de L. Foucault, 1 vol. avec planches (1878).

Bulletin trimestriel des publications de la librairie Gauthier-Villars (t. III et IV, trim. 1877, t. I et II, trim. 1878).

Le sucre; par M. *Dubrunfaut*, 2 vol. in-8°.

Musée de Kensington. Handboock to the special Loan Collection of Scientific apparatus, 1 vol. in-8° (1876).

Catalogue of the special Loan Collection of Scientific apparatus at the south Kensington-Museum.

Notice sur Flachat; par M. *Malo*, 1 vol. in-8°.

Discours aux funérailles de M. Regnault; par M. *Jamin* (extr. des *Compt. rendus*).

Notice sur le R. V. Secchi; par MM. *Ferrari* (*S.*) et *Marchetti*, br. in-4°.

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation (extrait des *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers*); par M. le Général *Morin*, in-8°.

Commission internationale du mètre. Procès-verbaux et Séances (1869-1874), 9 broch. in-8°.

Description d'un Laromètre-balance enregistreur; par M. *Crova*, br. in-4°.

Congrès international des sciences géographiques; 2° session (Paris, 1875); Origine et historique du Congrès, broch. in-8°.

Étude sur le mécanisme et la marche des chronomètres; par M. *E. Caspari*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'élasticité des gaz; par M. *Mendeleeff* (russe, 1875), in-4°.

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau*.

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur (extrait des *Comptes rendus* et des *Mondes*); par M. *F. de Romilly*, br. in-8°.

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi leggieri; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di meccanica molecolare; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Observation sur le langage mathématique et sur l'enseignement du calcul; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Réforme analytique de la règle de trois ou règle d'or et Notions d'analyses mathématiques d'après Descartes, Pascal et Arnauld; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Statistique des volumes des équivalents chimiques et d'autres données relatives à leurs propriétés physiques. — Mémoire sur quelques questions moléculaires; par M. *G. West*, 1 vol. in-4°.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Notice sur le gazhydromètre Maumené; par M. *Maumené*, br. in-4°.

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Ricerche fisico-chimiche sui differenti stati allotropici dell'idrogeno; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Intorno ad un nuovo apparato per la trasmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell'acqua; par M. *Antonio Favaro*, br. in-8°.

Notes chimiques et chimico-physiques; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Recherches sur la capillarité dynamique; par M. *Decharme*, 3 br. in-8°.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules; par M. *G. West*, br. in-4°.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer; par M. *Decharme*, br. in-8°.

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*, in-4°.

Conductibilité de la chaleur dans les minéraux; par M. *Ed. Jannettaz*, in-8°.

Question température (concours 1872); par M. *Melsens*.

La chaleur solaire et ses applications industrielles; par M. *Mouchot*, 1 vol. in-8°.

Experiments on the heat conduction in stone based on Fourier's, « Théorie de la chaleur (1re Partie) »; par *Ayrton* et *John Perry* (Iokohama, 1875), in-8°.

Étude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope; par M. *J. Salleron*, br. in-8°.

Le moteur hydrothermique; par M. *F. Tommasi*, br. in-8°.

Sull' Azione della cosi detta Forza catalitica spiegata secondo la theoria termodinamica; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Application du courant électrique aux recherches de l'état sphéroïdal (en russe); par M. *Heselius*, br. in-8°.

Il termometro e il barometro della Loggia dell'orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Il termometro della Loggia dell'orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Barometro a peso manometro regolatore e fornello a petrolio; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari; par M. *G. Vimercati*, br. in-8°.

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme*.

Sur les vibrations transversales des fils et des lames d'une faible épaisseur (extrait des *Annales de l'École Normale*); par M. *Gripon*, br. in-8°.

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *Gripon*, br. in-4°.

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *M. Neyreneuf*, in-8°.

Étude théorique et expérimentale sur les plaques et membranes de forme elliptique; par M. *A. Barthélemy*, br. in-8°.

Le son et la musique, *suivi* des causes physiologiques de l'harmonie musicale. de M. *H. Helmholtz*, par M. *P. Blaserna*, 1 vol. in-8° relié.

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*, in-8°.

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*, br. in-4°.

Note sur un système d'appareils électro-sémaphoriques (Block-system); par MM. *Lartigue, Tesse* et *Prud'homme*, br. in-4°.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (thèse); par M. *Mouton*, in-4°.

Note sur la théorie du téléphone; par M. *Navez.*

Réponse aux Observations de M. du Moncel; par MM. *Navez père* et *fils.*

Discussion sur la théorie du téléphone entre MM. *du Moncel* et *Navez.*

Lettre relative à la Note de MM. Navez père et fils sur la théorie du téléphone; par M. *du Moncel*, br. in-8°.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel*, br. in-8°.

Notice sur le coup de foudre de la gare d'Anvers du 10 juillet 1865; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Quatrième Note sur les paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

De l'application du rhé-électromètre aux paratonnerres des télégraphes; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples (Bruxelles, 1877); par M. *Melsens*, 1 vol. in-8.

Note sur un appareil de M. Melsens dit *rhé-électromètre;* par M. *Hervé Mangon*, br. in-4°.

The resistance of galvanometer coils; par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

The resistance of the Electric Light (Ext. de la Soc. de Eng. Teleg.); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

Note on Electrolytic polarisation (Extrait); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, in-8°.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*, 1 vol. in-8°, relié.

Conférence à propos de la pose du câble de Barcelone; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Construction des câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Télégraphie Duplex; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Transmission des signaux par les câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Le siphon enregistreur de sir W. Thomson; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Réparations des câbles sous-marins; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Sur la déperdition de l'électricité dans les gaz, par M. *Bobileff* (en russe), br. in-8.

Sur la déperdition de l'électricité sur les conducteurs composés de parties différentes (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-8.

Résistance galvanique des charbons sous diverses températures (en russe); par M. *Bergman*, br. in-8°.

Sur une application de l'éclairage électrique faite à la filature du Champ-du-l'in; par M. *Grosseteste*, br. in-4°.

Machina dielettrica; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sopra la ripostà del sig. prof. Giovani Cantoni all'osservazioni fatte al suo lavoro sull'elettroforo e la polarizzazione elettrostatica; par M. *Alberto de Eccher*, br. in-8°.

The Electrical properties of Bee's-Wax and lead chloride (Extrait du Philos. Mag.); par M. *Ayrton*, br. in-8°.

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés, par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Some electrical experiments, with crystalline selenium; par *Robert Sabine*.

Sui rapporti della pioggia con le pierre dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Filicie Matteucci; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente; par M. *Glisenti*, br. in-8°.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle; par M. *Grisenti*, br. in-8°.

Expériences pratiques de la boussole circulaire faites à bord des navires de l'État et de la marine marchande (6ᵉ, 7ᵉ et 8ᵉ édit.); par M. *Duchemin*, 3 broch. in-4°.

Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire en 1874; par M. *Crova*, br. in-4°.

Le photomètre électrique (en russe); par M. *Egoroff*, br. in-8°.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Rapport sur la construction des appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault et en particulier sur une balance à marteau automatique de M. Deleuil; par M. *Le Blanc (Félix)*, br. in-4°.

Détermination de la vitesse de la lumière d'après les expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Montlhéry; par M. *Cornu*, 1 vol. in-4°.

Recherches sur la persistance des actions sur la rétine; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Les prismes polarisateurs (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-4°.

Les spectres de la chlorophylle; par M. *Chautard*, br. in-8°.

Una Lettra inedita del principe Leopoldo de Medici; par M. *Govi*.

Di alcune nuove camere lucide; par M. *Govi*, br. in-4°.

Intorno agli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cineti; par M. *Govi*.

Illusions astronomiques; par M. *Schwedoff*, br. in-8°.

Azione dei raggi solari sui composti alcidi d'argento; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Météorologie nautique; vents et courants (1874); par MM. *Ploix* et *Caspari*, br. in-4°.

Température et composition des eaux de la Méditerranée; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-18.

Sulla pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Prodromo di un catalogo fisico delle stelle colorate; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Sulla supposta origine cosmica delle aurore polari; par M. *Govi*, opusc. in-18.

Meteorologica Romana; par M. *Ferrari* (*G.-St.*), br. in-4°.

Note sur l'organisation des études météorologiques en France; par M. *Goulier*, br. in-8°.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876-1877; par M. *Meurien*.

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT LES ANNÉES 1877-1878.

Dix éléments Grenet; donnés par M. *Ducretet.*
Lanterne de M. Duboscq; donnée par M. *de Romilly.*
Appareil à projection; donné par M. *Duboscq.*
Lampe d'émailleur; donnée par M. *Wiesnegg.*
Gazomètre en cuivre; donné par M. *Wiesnegg.*
Rhé-électromètre; donné par M. *Melsens.*

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1879.)

BUREAU.

MM. Berthelot, *Président.*
Mascart, *Vice-Président.*
D'Almeida, *Secrétaire général.*
Bouty, *Secrétaire.*
Lippmann, *Vice-Secrétaire.*
Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

D'Arlincourt, 1877.
Fernet.
Marey.
Marié-Davy.

Becquerel (Ed.), 1878.
Cavaillé-Coll.
Joubert.
Mascart.

MM. Bergon, 1879.
Bischoffsheim.
Dumoulin-Froment.
Jamin.

Membres non-résidants :

Alluard (Clermont-Ferrand). 1877.
Crova (Montpellier),
Spottiswoode (Londres).
Terquem (Lille).

Abria (Bordeaux), 1878.
Cailletet (Châtillon-sur-Seine).
Lissajous (Besançon).
Warren de la Rue (Londres).

MM. Lecoq de Boisbaudran (Cognac), 1879.
Violle (Grenoble).
Rossetti (Padoue).
Ternant (Marseille).

MEMBRES HONORAIRES.

Billet, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
Broch (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania.
Fizeau (A.-H.-L.), Membre de l'Institut.
Joule (J.-P.), de Manchester.
Stokes (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir William Thomson, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.

MEMBRES A VIE [1].

MM. Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
D'Alméida, Inspecteur général de l'Université, 31, rue Bonaparte.
Warren de la Rue, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
Mascart, Professeur au Collége de France, 80, rue Grenelle Saint-Germain.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
Niaudet, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 120, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Vice-Président de la Société royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
Gernez, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
Duboscq, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 52, rue Saint-Georges.
Duclos, Directeur de l'École Normale de Barcelonnette (Basses-Alpes).
Blavier, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes.
Hugo (Comte Léopold), 94, rue de la Victoire.
Bischoffsheim (Raphaël, Louis), 34, rue Neuve-des-Mathurins.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Fernet, Inspecteur général de l'Université, 93, rue des Feuillantines.
Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.
Angot, Professeur au Lycée Fontanes, 82, rue Grenelle-Saint-Germain.
Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.
Brion, Professeur au Lycée Saint-Louis, 21, rue de Turin.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.
ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).

---

[1] Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. IV, dernier paragraphe.)

MM.

ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALMEIDA (d'), Inspecteur général de l'Université, 31, rue Bonaparte.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
ANDREWS, Queen's College, Belfast (Irlande).
ANGOT, Professeur au Lycée Fontanes, 82, rue Grenelle Saint-Germain.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 102, rue Neuve-des-Mathurins.
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
AUBRY, Professeur au Collége d'Avallon.
AUBRY, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Nancy.
AUGUEZ (Émile), Inspecteur des contributions indirectes, 60, faubourg Saint-Vincent, à Orléans.
AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.
AYMONNET, Répétiteur à l'École d'agriculture de Grignon.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.
BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Neuve-Fontaine Saint-Georges.
BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.
BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.
BARRAU DE MURATEL (Maurice de), Membre du Conseil général du Tarn, 51, rue de Varenne.
BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.
BAUDOT, Employé des lignes télégraphiques, 73, rue du Cherche-Midi.
BEAU (Henri), ancien Élève de l'École Polytechnique, 34, faubourg Poissonnière.
BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, 65, boulevard Saint-Michel.
BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BECQUEREL (Henri), Élève des Ponts et Chaussées, 10, rue Gay-Lussac.
BEDOS, Professeur au Lycée de Montpellier.
BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne).
BENEVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).
BENOIT, Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.
BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.
BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 54, rue Madame.
BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
BERTHEREAU (Édouard), Préfet de la Haute-Saône.
BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.
BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.
BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 9, rue des Saints-Pères.
BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

MM.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.
BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.
BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), 34, rue Neuve-des-Mathurins.
BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
BLIN (**Gaston**), Sous-lieutenant d'Infanterie, au 95e de ligne, à Bourges.
BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, 15, rue Guy-de-la-Brosse.
BOBILEFF, Docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).
BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.
BONIOL, Professeur de mathématiques, 123, rue de la Pompe (Passy).
BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'Administration générale des lignes télégraphiques.
BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 121, b. Haussmann.
BORGMAN, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de St-Pétersbourg (Russie).
BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.
BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique.
BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.
BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 42, rue Lhomond.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURSEUL, Directeur des Postes et Télégraphes, à Cahors.
BOURGET, Recteur de l'Académie d'Aix.
BOUTAN, Inspecteur général de l'Université, 4, rue de l'Odéon.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.
BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.
BRANLY, Professeur à l'Université catholique, 49, rue Gay-Lussac.
BREGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BREGUET (**Ant.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue de Savoie.
BREWER, fils, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.
BRILLOUIN, Préparateur-agrégé au Collége de France.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 21, rue de Turin.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Sainte-Catherine-d'Enfer.
BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue Denfert-Rochereau.
BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwége).
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABANELLAS (**G.**), Lieutenant de Vaisseau, 11, rue Bernoulli.
CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CADIAT, Ingénieur de la Société du Val d'Osne, 24, rue Meslay.
CAEL, Inspecteur des Télégraphes, à Lille.

MM.

CAILLETET, Correspondant de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine.
CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, 79, boulevard St-Michel.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CHABRERIE, Professeur au Collége de Brives.
CHARLES, Directeur des ateliers de l'Administration des Lignes télégraphiques, 24, rue Bertrand.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.
CHARLON, Directeur de la *Confiance*, 2, rue Favart.
CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.
CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.
CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CLERAC, Sous-Inspr des Lignes télégraphiques, 103, rue Grenelle-St-Germain.
COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 134, rue Bonaparte.
CORNU, Membre de l'Institut, 38, rue des Écoles.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 372, rue St-Honoré.
COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.
CROIX, Professeur au Collége, 18, Grande Rue, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).
CROSE (**Ch.**), 21, rue de l'Odéon.
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DAGUENET, Professeur au Lycée de Grenoble, 14, rue Vicat.
DAGUIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.
DALMAU, Ingénieur, 9, Rembla del Centro, à Barcelone (Espagne).
DAMIEN, Professeur au Lycée, à Lille, 2, rue de la Louvière.
DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DECLERC, Professeur au Collége de Langres (Haute-Marne).
DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.
DELESTRÉE, Inspecteur d'Académie, à Nice.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée d'Orléans, 4, rue Jeanne d'Arc.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DENAYROUZE (**L.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 3, boulevard Voltaire.
DEPREZ (**Marcel**), Ingénieur, 16, rue Cassini.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boul. Saint-Michel.
DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 7, boulevard des Capucines.
DESPRATS, Professeur au Collége de Millau (Aveyron).

MM.

DIENHEIM BROCHOCKI (**Comte Th. de**), Ingénieur civil, 39, boul. des Batignolles.
DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes du département des Deux-Sèvres, à Niort.
DOULIOT, Principal du Collége de Langres.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
DUCLOS, Directeur de l'École Normale de Barcelonnette (Basses-Alpes).
DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 89, rue des Feuillantines.
DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 23, rue de Vaugirard.
DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.
DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

EICHTHAL (**baron d'**), 98, rue Neuve-des-Mathurins.
EDELBERG, Ingénieur Opticien, à Kharkoff (Russie).
EGOROFF (**Nicolas**), au Cab[t] de Phys. de l'Université, St-Pétersbourg (Russie).
ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville, 41, rue des Teinturiers.
ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FAURE, Ingénieur, The Cotton Powder C° Limited, vare Worths, à Faversham (Angleterre).
FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 104, rue du Bac.
FAYE, Membre de l'Institut, 9, chaussée de la Muette, Passy-Paris.
FERNET, Inspecteur général de l'Université, 93, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FONTAINE (**Hippolyte**), 52, rue Saint-Georges.
FONTBONNE (l'abbé), au château de Gourdan, par Annonay (Ardèche).
FOURNIER (**Félix**), 115, rue de l'Université.
FRIDBLATT (**A.**), Contrôleur du Télégraphe, à Chaumont (Haute-Marne).
FRIEDEL, Membre de l'Institut, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 127, boulevard Saint-Michel.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARBE, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.
GARÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.
GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.
GARZA (**Pedro**), Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).
GAUGAIN, 1, rue d'Assas.

MM.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.
GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.
GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 1, rue Basse-Notre-Dame.
GAYON, Chimiste en chef de la Douane des sucres, à Bordeaux.
GERMAIN (**Pierre**), employé des Télégraphes, à Clermont-Ferrand.
GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.
GIRARD (**Ch.**), Professeur au Collége Rollin, 9, rue Thenard.
GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.
GIROUD (**D.**), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels.
GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.
GOSSART (**Ferdinand**), à Mareuil-sur-Ay (Marne).
GOSSIN, Proviseur au Lycée de Marseille.
GOTENDORF (**Silvanus**), 43, rue Richer.
GOVI, Professeur à l'Université de Naples (Italie).
GRAY (**Matthew**), Directeur de l'usine de l'Indian-Rubber gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.
GRAY (**Robert Kay**), Ingénieur électricien à l'usine de l'Indian-Rubber, gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.
GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.
GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Nîmes, 24, rue Dorée.
GROGNOT (**L.**), Chimiste, manufacturier à Dijon (Usine du Foulon).
GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.
GUEBHARD, Licencié ès sciences Physiques et Naturelles, 45 *bis*, rue Perronet, à Neuilly-sur-Seine.
GUELPA, Principal du Collége de Blidah (Algérie).
GUERBY, Professeur au Collége à Grasse (Alpes-Maritimes).
GUEROUT, Sous-Directeur de la maison Ruhmkorff, 15, rue Champollion.
GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HANRIOT, Professeur de Physique honoraire à la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
HAUCK (**W.-J.**), Constructeur d'instruments de physique, 20, Kellenbrücke gasse, à Vienne (Autriche).
HESEHUS (**N.**), Attaché à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).
HOSTEIN, Professeur au Lycée de Nancy.
HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).
HUGO (**le Comte Léopold**), 94, rue de la Victoire.
HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.
HUGUENY, Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille.
HUREAU DE VILLENEUVE (**le Dr**), 95, rue Lafayette.
HURION, Professeur à l'École normale spéciale de Cluny (Saône-et-Loire).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

MM.

ITCHNER, Principal du Collége de Béziers.

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 52, rue de Naples.
JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
JANDEAU, Professeur au Collége de Tourcoing.
JANNIN, Professeur au Lycée d'Albi, 9, rue Mariès.
JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.
JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophthalmologie de la Sorbonne, 58, rue Grenelle-Saint-Germain.
JENNESSON, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
JÉNOT, Professeur au Lycée de Nancy.
JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).
JOLY, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Besançon.
JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 52, rue Saint-Georges.
JOUBERT, Professeur au Collége Rollin, 50, rue Gay-Lussac.
JOULE (J.-P.), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester.
JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 26, rue de Pontoise.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LACOINE (Émile), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).
LAFOREST (de), Lieutenant-Colonel du 33e de ligne, à Arras.
LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 39 *bis*, rue St-Ambroise à Melun.
LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.
LAMANSKY, Professeur à l'Université de Varsovie (Russie).
LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Dijon, 3, rue de Lamonnoye.
LAPORTE, Lieutenant au 64e régiment d'infanterie, détaché à l'École militaire supérieure de guerre, 40 *bis*, rue Fabert.
LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.
LATTES (Oreste), Ingénieur à Turin (Italie).
LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
LAVIÉVILLE, Commissaire de surveillance administrative, gare de Besançon.
LAWTON (George), Fleetwood electricien de l'Eastern Telegraph, 2, boulevard du Muy, à Marseille.
LE BLANC (Félix), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.
LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur à l'Institution Saint-Martin, à Rennes.
LECARME, Professeur au Collége Chaptal, 37, rue de Saint-Pétersbourg.
LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.
LECOQ DE BOISBAUDRAN (François), Correspondant de l'Institut, à Cognac.
LE GAVRIAN (Paul), Ingénieur, 52, rue de Valenciennes, à Lille.
LEFEBVRE, Lieutenant au 95e d'infanterie, à Bourges.

MM.

LEMOINE (E.), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.
LEMOINE (G.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.
LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.
LERMANTOFF, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).
LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.
LESCHI, Professeur au Collége de Corte (Corse).
LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.
LEVY (Armand), Professeur au Lycée de Troyes.
LIBERT (C.-D), Professeur au Collége de Cholet.
LIPPMANN, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 59, rue des Feuillantines.
LISLEFERME (de), Ingénieur en retraite, à Taillebourg.
LISSAJOUS, Recteur de l'Académie de Besançon.
LOIR, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Lyon.
LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

MACÉ de LÉPINAY, Professeur au Lycée, 28, boulevard Longchamp, à Marseille.
MAGNE, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Amiens.
MALLEZET, Architecte, 29, rue de Fontenay, à Vincennes.
MANEUVRIER, Agrégé, attaché à l'École des Hautes-Études, 20, rue des Écoles.
MANGIN, Lieutenant-colonel, du Génie, 18, boulevard des Invalides.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Membre de l'Institut, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 80, rue Grenelle-St-Germain.
MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.
MASSE, Professeur au Collége d'Épernay.
MASSON (G.), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.
MAUMENÉ, Chimiste, 91, avenue de Villiers.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 29, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.
MERCADIER, S^s-Inspecteur des télégraphes, 103, rue de Grenelle-St-Germain.
MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).
MEURIEN, Pharmacien, à Lille.
MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.
MOITESSIER (Albert), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.
MONCEL (Comte du), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.

MM.

MOREL, Maître de conférences à la Faculté de Médecine, à Lille.

MORIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Poitiers.

MORRIS, Inspecteur des Lignes télégraphiques, 83, rue de Rennes.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.

MOUCHOT, Professeur au Lycée, à Tours.

MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 61, rue des Feuillantines.

MUIRHEAD (**Dr Alexandre**, F. C. S.), 159, Cambden Road, Londres.

MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regent-Street, Westminster, Londres.

NAPOLI (**David**), Chimiste au chemin de fer de l'Est, 15, rue Pigalle.

NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.

NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.

OGIER (**Jules**), 45, rue de Chabrol.

OLIVIER (**Louis**), Licencié ès-sciences naturelles, à Elbeuf.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

PAILLARD-DUCLÈRE (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, sous-chef du cabinet du Ministre des affaires étrangères, 32, boulevard Haussmann.

PARAYRE (**l'abbé**), Licencié ès-sciences physiques, 74, rue de Vaugirard.

PASSOT (**Dr**), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).

PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Fontanes, 21, rue Monge.

PELLERIN, Professeur de physique à l'École de Médecine de Nantes.

PEREZ DE NUEROS (**Federico**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

PÉRIGNON, 105, faubourg Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, 3, rue Bernard, à Dôle.

PERNET (**Dr J.**), chargé des fonctions de Directeur du Bureau international des poids et mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.

PERROUD, Préparateur au Lycée Fontanes, rue du Havre.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 25, rue Cail.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro,

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.

POLLARD, Ingénieur de la Marine, à Cherbourg.

MM.

POTIER, Ingénieur des mines, répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

POUSSIN (Alexandre), Ingénieur manufacturier à Elbeuf.

POUSSIN, avocat à Elbeuf.

PRAZMOWSKI, Constructeur d'Instruments d'optique, 1, rue Bonaparte.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PROTCHE (le Colonel), Commandant en second de l'École Polytechnique.

PUCHEU, Professeur au Collége de Béziers.

PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 12, avenue Trudaine.

PUYFONTAINE (Comte de), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 59, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.

RAYET, Professeur à la Faculté de Bordeaux.

RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.

REYNIER, Ingénieur électricien, 19, avenue de l'Observatoire.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

RENARD, Capitaine du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

REY (Casimir), Professeur de mathématiques à l'École du Génie, 22, rue de Montbauron, à Versailles.

RIBAIL (Xavier), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 37, rue du Château.

RICHARD, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, à Paris.

RICHET (Th.), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 35, faubourg Poissonnière.

RITTER, Professeur de Chimie à la Faculté de Médecine de Nancy.

RODDE (Ferd.), 3, cité Magenta.

ROIG Y TORRES (Raphaël), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROISIN (Paul), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

ROLLAND (E.), Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

ROMANET, ancien Élève de l'École des Mines, à Bovelles, par Picquigny (Somme).

ROMILLY (de), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, 1, rue de la Bourse.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirrier, 44, rue de Poissy, à Enghien.

ROSSETTI, Professeur à l'Université de Padoue (Italie).

ROUSSE, Professeur au Lycée de Saint-Étienne, 23, rue Saint-Étienne.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

MM.

SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.

SALET, Maître de conférences de Chimie à la Sorbonne, 120, boulevard Saint-Germain.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 61, avenue de Villiers.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SCHÆFER (**G.-H.**), Professeur au Collége d'Alais.

SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 36, rue Gay-Lussac.

SEBERT, Commandant d'Artillerie de Marine, 17, boulevard de Courcelles.

SÉGUIN, Recteur de l'Académie des sciences de Caen.

SEIGNETTE (**Adrien**), Licencié ès-sciences, 87, rue du Bac.

SERRÉ-GUINO, Professeur au Lycée de Bordeaux.

SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SIMOUTRE (**l'Abbé**), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Docteur ès sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon, 15, rue des Chambrettes.

SIRVENT, Professeur au Collége Rollin, 116, rue de Rennes.

SIVRY (**L. de**), Rédacteur au Ministère des Affaires étrangères, 32, rue de Verneuil.

SOURDEVAL (**de**), 22, rue Bergère.

SPOTTISWOODE (**W.**), Vice-Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.

STEPANOFF, Préparateur de physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage Cambridge.

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nîmes, 61, rue Roussy.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial Russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

TERNANT, Repr[t] de la C[ie] de l'Eastern Telegraph, 3, boul. du Muy, à Marseille.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (le baron **Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.

THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.

THOMSON (**Sir William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow (Écosse).

THYRION, Professeur au Collége de Fontainebleau.

TILMANT (**Victor**), Directeur de l'École Supérieure à Lille.

TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 50, avenue de Wagram.

TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.

TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).

TRIPIER (**le D[r]**), 4, rue de Hanovre.

MM.

TROTIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Nevers.
TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.
TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.
TURIÈRE, Professeur au Collége de Bedarieux.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.
VAN DER VLIT, Privat-Docent de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg.
VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électromagnétiques, 67, avenue de Wagram.
VARACHE, Professeur au Collége de Béziers.
VARIN, Professeur au Collége, à Épinal.
VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 8, rue Gay-Lussac.
VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.
VILLIERS (**Antoine**), 8, rue du Havre.
VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).
VIOLLE, Professeur à la Faculté des sciences de Grenoble.
VIORRAIN, Préparateur de Chimie, 71, rue Saint-Jacques.
VLADIMIRSKI (**Alexis**), Professeur de Physique à l'École technique de Moscou (Russie).

WAHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
WALFERDIN, 3, rue Bude.
WARREN DE LA RUE, 73, Portland place, Londres, W.
WERLEIN, Constructeur d'Instruments d'optique, 7, rue Berthollet.
WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.
WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.
WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, 15, rue Royale, à Lille.
WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 95, rue des Feuillantines.
WUNSCHENDORFF, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Toulon.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).
ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 202, calle Catedral, à Santiago.
ZILOFF, Professeur de Physique à l'École Impériale technique, à Moscou (Russie).

Janvier 1879.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

4873 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1879.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1879.

PARIS,

AU SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ,

44, RUE DE RENNES, 44.

—

1879

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 3 JANVIER 1879.

PRÉSIDENCE DE MM. BLAVIER ET MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 décembre 1878 est lu et adopté.

M. Blavier signale les pertes regrettables que la Société a faites dans trois de ses membres : MM. Regnault, Becquerel et le R. P. Secchi. Il résume les travaux exécutés pendant l'année qui se termine et cède la présidence à M. Mascart, vice-président. On procède à l'élection du Bureau.

Le bureau de l'année 1879 se trouve ainsi composé :

M. Berthelot, *président;*
M. Mascart, *vice-président;*
M. d'Almeida, *secrétaire général;*
M. Bouty, *secrétaire;*
M. Lippmann, *vice-secrétaire;*
M. Niaudet, *archiviste-trésorier.*

Est élu membre de la Société, M. Guebhard, docteur en médecine.

M. le Secrétaire général fait remarquer que le procès-verbal de la dernière séance ne signale pas une Note adressée par M. le comte Léopold Hugo, ayant pour titre :

« Note sur des appareils exposés par le service de la Seine (ingénieurs, MM. de Lagrené et Cheysson) :

» 1° Un fluviographe enregistreur pour surveiller la tenue des biefs;

» 2° Un bateau-cloche d'un système nouveau permettant de

travailler sous une pression de 5 mètres d'eau, et dans des courants violents. »

M. Benoît montre à la Société un thermo-régulateur de son invention, fondé sur l'accroissement de la tension maximum d'une vapeur saturée avec la température.

M. d'Almeida présente, au nom de M. Alfred M. Mayer, et montre en projection, à l'aide de la lanterne verticale de M. Duboscq, les expériences que ce physicien a imaginées pour figurer l'hypothèse des attractions et répulsions moléculaires.

M. Lippmann expose des expériences qu'il a faites avec le concours de M. A. Bréguet, et desquelles il résulte qu'un écran magnétique de fer doux ne modifie en rien la force électromotrice produite par la rotation relative d'un aimant et d'un fil de cuivre entouré par l'écran.

Régulateur de température; par M. René Benoit.

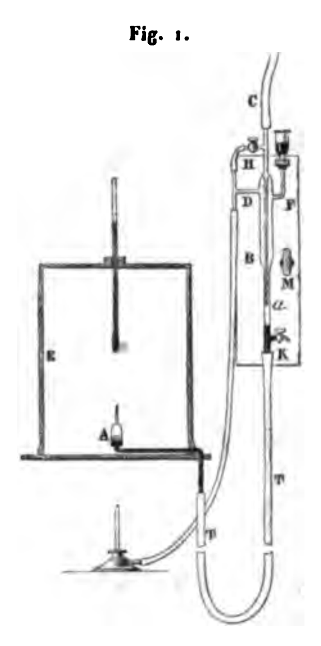
M. Andreæ, d'Harlingen, a décrit [1] un thermo-régulateur, fondé sur la variation de la tension maximum d'une vapeur saturée avec la température. C'est un simple tube de Mariotte, de petites dimensions, rempli de mercure jusqu'à un certain niveau. Dans la courte branche fermée, on a fait passer quelques gouttes d'un liquide dont la température normale d'ébullition est un peu inférieure à celle que l'on veut obtenir. Dans la grande branche est disposé un interrupteur du gaz, analogue à celui qui existe dans les régulateurs déjà connus. Un tube intérieur concentrique amène le gaz d'éclairage, qui descend jusqu'à son orifice inférieur, remonte dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes et s'échappe par un conduit latéral, qui le mène au brûleur. Les oscillations de la colonne mercurielle, refoulée par la tension de la vapeur, règlent l'afflux du gaz qui chauffe le bain dans lequel est placé l'appareil. Ce régulateur est très-simple et très-sensible; mais il ne peut fonctionner qu'entre des limites de température très-étroites, à moins de changer le liquide volatil introduit dans la petite branche. Pour

(1) *Annales de Wiedemann*, nouvelle série, t. IV, p. 614.

éviter cet inconvénient, j'ai adopté la disposition suivante, qui permet de faire varier à volonté, entre des limites très-étendues, la pression sous laquelle se produit la vaporisation de ce liquide.

A est un petit réservoir destiné à contenir le liquide volatil, et auquel on peut donner une forme quelconque suivant la disposition de l'étuve E, dans laquelle il doit être introduit; c'est ici une ampoule de verre, mince, soufflée à l'extrémité d'un tube et étirée

Fig. 1.



en pointe pour la facilité du remplissage. En B, est représenté l'interrupteur du gaz, qui, amené par le tuyau C, descend jusqu'à l'orifice *a*, et s'échappe par le tube latéral D, d'où il est conduit au brûleur. Celui-ci est mis, en outre, en communication directe avec la prise C par un deuxième canal H, muni d'un robinet, qui laisse passer constamment une petite quantité de gaz et maintient le bec en veilleuse quand, par l'effet du jeu de l'appareil, le passage se trouve fermé en *a*. Deux autres tubes F, K servent à ajouter ou à enlever du mercure suivant les besoins. Cette partie de l'appareil est fixée sur une planchette mobile le long d'une glissière, sur laquelle elle peut être fixée à une hauteur quelconque par une vis de pression M.

Le réservoir A et l'interrupteur B sont réunis par un tube en caoutchouc épais TT. Le tout a été rempli de mercure, et une petite quantité d'alcool méthylique a été introduite dans le réservoir. Ce liquide bout à 65°, et les tensions de sa vapeur sont, d'après Regnault :

10°	50mm	60°	580mm
20	89	70	857
30	150	80	1238
40	244	90	1742
50	382	100	2405

Ainsi, avec une course totale de 2m, l'appareil peut être réglé pour une température quelconque jusque vers 100°. Il est évident d'ailleurs que, suivant les limites de température entre lesquelles on désire opérer, il peut y avoir avantage à choisir un autre liquide, plus ou moins volatil, ou même un mélange dont les tensions de vapeur sont intermédiaires entre celles des éléments qui le forment.

Pour obtenir dans l'étuve une température donnée, il faut régler l'appareil de manière que, le niveau intérieur du mercure se trouvant au bas du réservoir A et son niveau extérieur à l'orifice *a*, la distance entre ces deux niveaux, augmentée de la pression atmosphérique, soit égale à la tension maximum de la vapeur à cette température. Ce réglage se fait immédiatement au moyen d'une règle divisée, fixée à la glissière.

Par suite du faible volume du réservoir et de la rapidité avec laquelle s'établit la tension maximum de la vapeur, l'appareil est extrêmement sensible ; les tensions croissant d'ailleurs plus vite que les températures, la sensibilité va en augmentant à mesure que celles-ci s'élèvent.

Il est facile de se rendre compte de l'influence que peuvent exercer sur la marche du régulateur les variations de la pression du gaz d'éclairage et celles de la pression atmosphérique. Ces variations sont, en général, trop faibles pour avoir, surtout aux températures élevées, un effet bien sensible. Dans une petite étuve métallique, convenablement protégée contre le refroidissement extérieur et les causes de variations brusques, j'ai pu obtenir des températures

assez constantes, jusqu'à 95°, pour que, pendant cinq ou six heures consécutives, les oscillations n'aient pas atteint un dixième de degré.

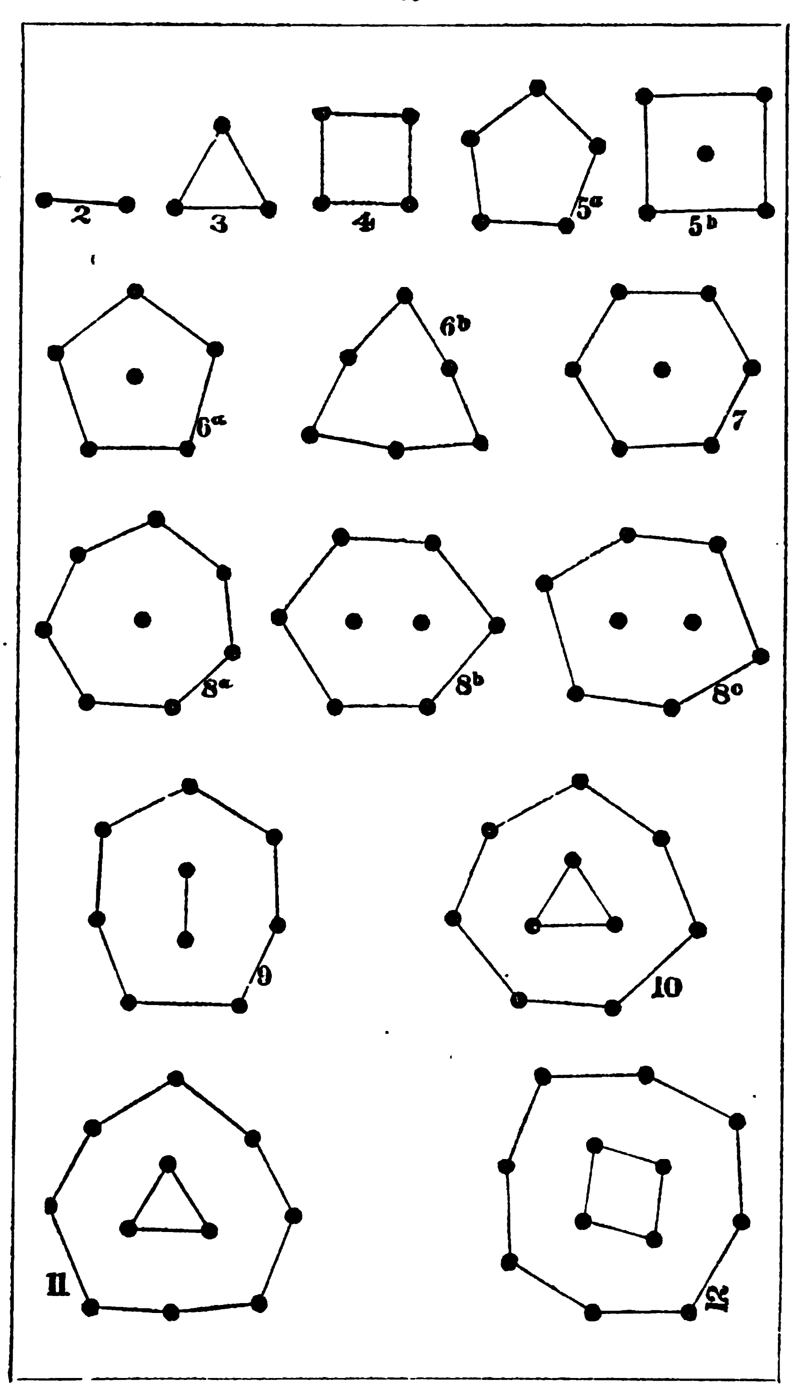
Expériences de M. A.-M. Mayer pour figurer les groupements et les actions moléculaires; par M. Ch. d'Almeida.

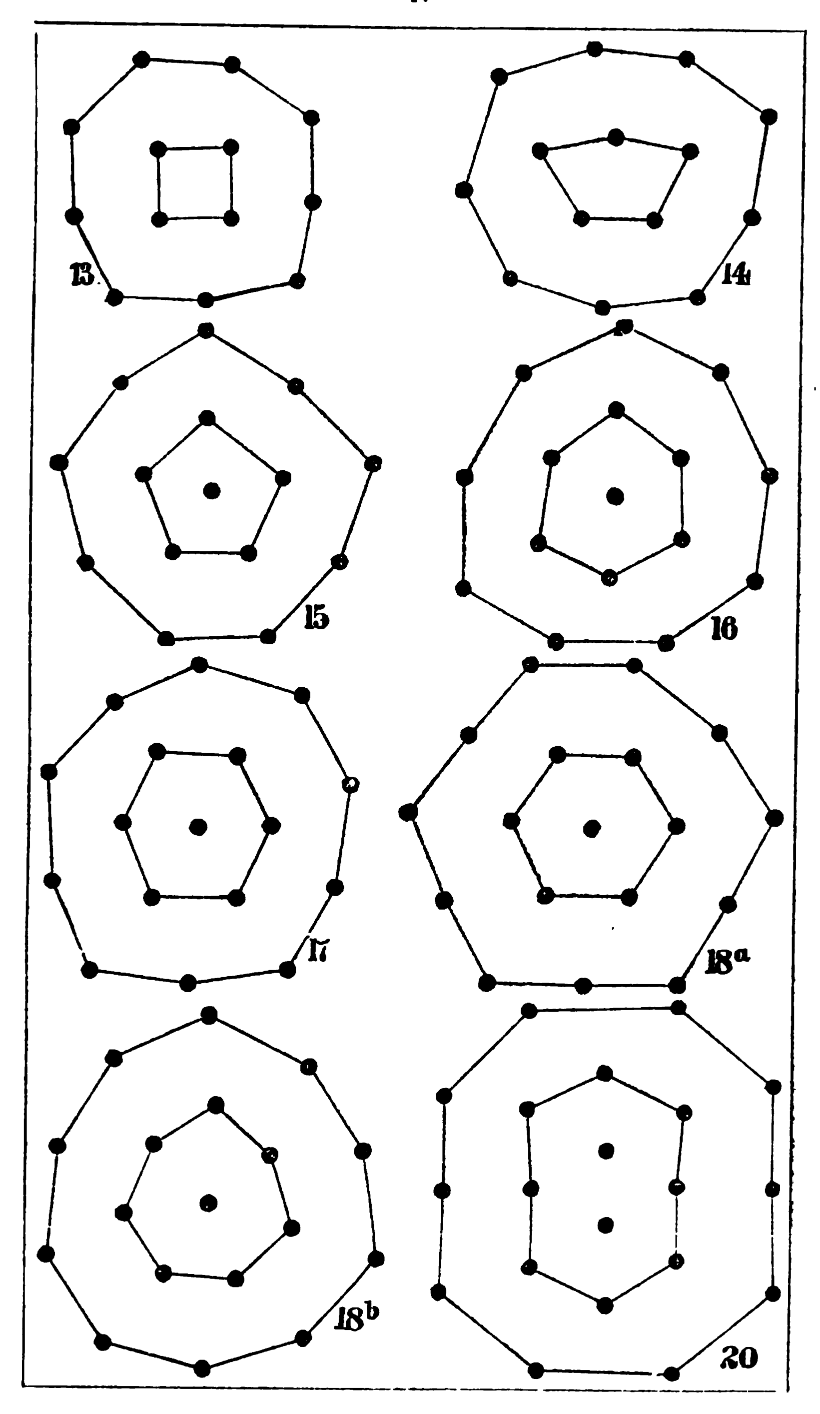
M. Mayer, préparant un Traité élémentaire de Physique expérimentale et désirant faire comprendre les groupements et les actions moléculaires, imagina un système d'expériences figuratives de ces groupements et de ces actions. Dans ce but, il eut recours aux actions magnétiques.

Des aiguilles à coudre sont aimantées; chacune traverse de part en part un petit bouchon de liége et s'y enfonce jusqu'à la tête. Ces aiguilles, abandonnées sur l'eau, flottent verticalement, la pointe en bas, et, comme le sens de leur aimantation est le même, elles se repoussent. Ce sont ces aiguilles qui représentent les molécules; leur magnétisme figure les forces répulsives. Pour obtenir des forces attractives, M. Mayer se sert d'un barreau aimanté tenu verticalement au-dessus de la surface de l'eau, dans une telle position que son pôle, de nom contraire à celui de la tête des aiguilles, soit dirigé vers le bas. Celles-ci sont attirées; elles s'approchent et alors se produisent des groupements qui dépendent du nombre des aiguilles, de leur position initiale et des impulsions imprimées. Vingt-trois de ces groupements sont représentés ici. La figure la plus complexe est formée de vingt aiguilles. L'auteur en a étudié de plus complexes encore : il a associé plus de cinquante aiguilles simultanément dans la même expérience.

Les figures se classent naturellement d'après l'ordre de leur complexité. Les unes (*fig.* 2, 3, 4, 5*a*, etc.) sont simples; les autres (*fig.* 8*b*, 8*c*, 9, 10, etc.) sont composées d'une des figures précédentes, que l'on peut appeler *le noyau*, enveloppée d'une autre; nous les appellerons *figures de deuxième ordre;* d'autres, la *fig.* 20 par exemple, sont des figures du troisième ordre; enfin on a obtenu aussi des figures du quatrième et même du cinquième ordre.

Ces figures montrent qu'un même nombre d'aiguilles peut


2
3
4
5a
5b
6a
6b
7
8a
8b
8c
9
10
11
12


13.
14
15
16
17
18a
18b
20

prendre divers groupements; exemples : 6*a*, 6*b* et 18*a*, et 18*b*. Ces groupements ne sont pas tous également stables : les lettres *a*, *b*, *c* indiquent l'ordre de stabilité. Un choc léger suffit souvent pour faire disparaître le groupement instable et pour produire le groupement stable qui correspond au nombre d'aiguilles en expérience.

A l'aide de ces expériences, l'auteur explique divers points de la théorie des atomes; mais il est bien entendu que ces explications ne sont que de simples comparaisons, destinées à faire comprendre les phénomènes tels qu'on les conçoit dans la théorie moléculaire. Voici les points signalés par l'auteur.

Les molécules des corps sont souvent dans un état d'équilibre instable : dans le cas de surfusion par exemple, l'eau, à — 10° C., le soufre, à + 100°, deviennent solides par le choc ou par l'introduction d'un cristal. Ce sont des phénomènes semblables aux variations des groupements, tels que 6*b* en 6*a*, changement qu'un choc produit également.

Pendant la solidification, une variation de volume se produit; de même, un groupement, qui se transforme en un autre, occupe un espace plus grand ou plus petit.

On conçoit aisément comment la représentation de l'allotropie et de l'isomérie est donnée par les mêmes figures.

L'auteur termine en indiquant la manière de projeter les expériences. Nous ne nous arrêterons pas sur ce point. La lanterne verticale de M. Duboscq (¹) permet de réaliser toutes les projections de ce genre. Nous l'avons employée, pour montrer ces expériences, dans une des séances de la Société de Physique.

Du rôle des écrans magnétiques en mouvement dans les phénomènes d'induction; par M. G. Lippmann.

I. On sait que le fer et même l'acier jouissent de la propriété de former écran magnétique. Ainsi, une aiguille aimantée

---

(¹) Voir *Bulletin de la Société*, année 1876, p. 6.

que l'on entoure d'une enceinte de fer doux se trouve protégée contre l'action directrice soit de la Terre, soit d'aimants extérieurs que l'on approcherait de l'enceinte. Pourtant ces actions magnétiques extérieures ne sont ni interceptées ni déviées par le fer doux; elles sont seulement équilibrées par l'action qui émane du fer doux, lequel s'aimante par influence, de façon à compenser les actions extérieures par sa propre action, qu'elle leur superpose.

Les effets statiques du magnétisme (direction d'une aiguille, aimantation) sont propres seulement à montrer la différence des deux systèmes de forces qui agissent simultanément en sens contraires. Pour mettre en évidence l'existence indépendante des deux systèmes de forces magnétiques, il suffit de faire produire à l'un d'eux un phénomène d'induction, à l'aide d'un mouvement relatif auquel l'autre système de forces magnétiques ne participe pas.

Grâce au concours obligeant de M. A. Breguet, l'expérience a pu être faite avec un appareil très-puissant.

Une machine Gramme à lumière fut transformée de la manière suivante. Le fil de la bobine tournante, qui dans la machine Gramme est fermé sur lui-même, fut coupé, et les deux bouts, ramenés sur l'axe de rotation, d'un même côté de la bobine tournante, furent mis, à l'aide de contacts frottants, en communication continue avec les bornes d'un galvanomètre multiplicateur non astatique. D'autre part, la distribution du magnétisme fut établie comme il suit : un courant constant auxiliaire, assez intense pour produire au besoin une belle lumière électrique, fut envoyé dans l'électro-aimant de l'appareil, de façon à faire naître tout le long de l'armature circulaire qui enveloppe extérieurement la bobine tournante un pôle magnétique de même nom A, tandis que le pôle contraire B se trouvait rejeté par influence au milieu de l'axe de rotation, au centre même de la bobine tournante. Cette bobine reçut d'une machine à vapeur une vitesse de rotation de plus de 1000 tours par minute; le galvanomètre fut observé en même temps. Le galvanomètre n'accusa que des déviations nulles ou insignifiantes. Ce résultat très-simple conduit à une conclusion rigoureuse : c'est que les actions magnétiques se transmettent à travers le fer doux et qu'elles se transmettent *intégralement*, c'est-à-dire sans être en rien modifiées par l'interposition du fer doux.

En effet, considérons les actions inductrices qui s'exercent sur

le circuit mobile. Le pôle B et le pôle auxiliaire produits par influence dans l'anneau de fer de la bobine ne tendent pas à produire de courant dans le fil, puisqu'ils sont immobiles par rapport au fil. L'action inductrice provient donc tout entière du pôle fixe A. Cette action inductrice s'exerce sur toute l'étendue du circuit mobile, c'est-à-dire, d'une part, sur tous les brins de ce fil qui sont extérieurs à l'anneau de fer doux et qui sont soumis à l'action indirecte de A sans interposition de fer doux, d'autre part sur tous les brins de fils intérieurs à l'anneau et protégés par lui. Les actions sur les brins extérieurs sont toutes de même sens; les forces électromotrices correspondantes ont une somme positive qui tend à produire un courant dans le circuit; les actions sur les brins intérieurs ont une somme précisément égale et de sens contraire à la première, puisque l'expérience montre qu'il n'y a pas de courant. D'autre part, si l'on supprimait l'anneau de fer, il en serait exactement de même. On sait que l'action d'un aimant qui a l'axe de rotation pour axe magnétique est nulle sur un circuit qui a ses extrémités sur cet axe d'un même côté du pôle. Ainsi, quand le fer doux existe, la force électromotrice d'induction qui s'exerce sur les brins de fil intérieurs est encore précisément égale et de sens contraire à celle qui a lieu sur le reste du circuit; elle n'est donc pas modifiée par l'interposition du fer doux.

II. Cette perméabilité complète du fer doux pour les effets magnétiques conduit aux conséquences suivantes : 1° une machine magnéto-électrique à courant continu, formée d'aimants, de fer doux et d'un fil de cuivre, ne peut pas fonctionner sans contacts frottants; 2° la force électromotrice d'une machine à contacts frottants dépend uniquement de la position de ces contacts, et non de la longueur ni de la forme du fil qui les joint.

En effet, puisque les effets d'induction produits par un aimant ne sont pas modifiés par l'interposition d'autres masses magnétiques, l'induction produite par un système formé d'aimants et de fer doux est égale à la somme des actions dues aux divers points des systèmes considérés séparément. Il résulte de là que, si la portion de fil qui est mobile par rapport aux masses magnétiques constitue une courbe fermée, il ne peut s'y produire de courant continu. Pour le démontrer sans avoir recours à une formule ana-

lytique, représentons, comme l'a fait Faraday, l'intensité de chaque point magnétique par le nombre de lignes de force qui en émanent. Ces lignes sont des lignes *fermées;* elles traversent le fer aussi bien que l'air, pour venir se refermer sur le point qui leur donne naissance et dont elles restent solidaires : c'est le fait qui a été démontré plus haut par l'expérience. Considérons l'une de ces lignes de force en particulier. Si elle vient couper le circuit mobile, elle y produira un courant d'induction qui circule dans un sens déterminé. Si le circuit mobile constitue, lui aussi, une ligne fermée, ou bien les deux lignes fermées resteront engagées l'une dans l'autre, ou bien, si elles se dégagent, c'est en se coupant de nouveau. Dans ce cas, il se produit un courant inverse du premier et qui l'annule si l'on prend la somme algébrique des quantités d'électricité qui circulent dans un sens déterminé. Cette somme algébrique est donc proportionnelle à la variation du nombre des lignes de force qui sont contenues dans l'intérieur du circuit. Elle est donc finie, car le nombre des lignes de force représente l'intensité du champ magnétique, laquelle est finie.

On ne peut donc obtenir de courant continu en quantité indéfinie que si la portion induite du circuit constitue une ligne non fermée; on est donc forcé de la relier au reste du circuit par deux contacts frottants.

La force électromotrice induite dans une machine à courant continu ne dépend que de la position des frotteurs. Soit E cette force électromotrice. Relions les extrémités du fil induit par un fil complémentaire qui en soit solidaire et qui en fasse un circuit fermé. En appelant E′ la force électromotrice induite dans le fil complémentaire, on a $E + E' = o$, puisque le circuit est fermé. On a donc constamment $E = -E'$, quelle que soit la forme du fil induit. Pour la même raison, E′ ne dépend pas de la forme du fil complémentaire. On ne peut donc multiplier la force électromotrice d'une machine à courant constant, telle que celles qui ont été construites par Faraday et M. Le Roux, qu'en multipliant le nombre des fils induits et des couples de frotteurs. Pour obtenir de grandes tensions en augmentant la longueur du fil induit, il faut avoir recours à des machines à courant alternatif, avec ou sans commutateur redresseur. Les machines de Clarke, de Siemens, et notamment la machine de Gramme, sont des machines

à courant alternatif et à commutateur redresseur. La force électromotrice d'induction change de signe dans le fil induit à chaque demi-révolution; par le jeu du commutateur, le courant recueilli à l'extérieur est de direction constante.

Moyen d'obtenir des étincelles électriques colorées avec la machine de M. Teploff; par M. Mascart.

(Séance du 2 août 1878.)

L'Exposition universelle de 1878 renfermait, dans la section russe, une machine électrophorique très-curieuse de M. Teploff, et quelques visiteurs ont pu être assez heureux pour voir et entendre les belles étincelles que l'on tirait de cet appareil. M. Teploff a légué sa machine au cabinet de Physique du Collége de France. Nous dirons quelques mots sur l'emploi que fait M. Teploff de conducteurs médiocres pour obtenir des étincelles de différentes couleurs.

Dans les machines à petit développement de conducteurs, comme celle de Holtz, on a l'habitude d'ajouter aux électrodes des condensateurs de dimensions variables qui augmentent leurs capacités, rendent les étincelles plus rares et plus puissantes, et contribuent à maintenir les peignes amorcés.

Le plus souvent, on se sert seulement de deux bouteilles réunies en cascade, et il y a dans cette disposition un certain nombre de communications que l'on peut énumérer ainsi :

1° Conducteurs pour relier les armatures internes des bouteilles avec les électrodes;

2° Armatures internes des bouteilles;

3° Armatures externes;

4° Communication des armatures externes.

Les conducteurs 1 et 4 peuvent être remplacés par des corps présentant une grande résistance au passage de l'électricité, tels que des bandes de papier peint, surtout de papier peint au noir de fumée, de longueur et de largeur variables, des cordes plus ou

moins mouillées, des tubes remplis de liquide, des mèches de coton humide placées dans des tubes de verre, etc. Pour la dernière communication, en particulier, une disposition très-simple consiste à employer deux plaques de plomb, reliées aux armatures par des fils de cuivre recouverts de gutta-percha, et à poser ces plaques, à une certaine distance l'une de l'autre, sur une bande de papier. Pour remplacer l'armature interne des bouteilles, on peut employer un liquide ou simplement mouiller les parois du vase. Enfin, il suffit de placer la bouteille dans un vase cylindrique renfermant de l'eau pour que l'armature externe soit elle-même liquide.

Si la cascade est formée par quatre bouteilles réunies deux à deux, on peut joindre, par une bande de papier ou un conducteur médiocre quelconque, les armatures extérieures de chaque paire de bouteilles et former la réunion des armatures extérieures de chaque groupe avec l'autre, du groupe positif avec le groupe négatif, par un conducteur médiocre.

On dispose ainsi d'une foule de moyens pour distribuer les résistances en différents points du circuit total, et les apparences que l'on obtient sont extrêmement variées.

D'abord les étincelles, tout en conservant la même longueur au moins qu'avec les communications conductrices, deviennent moins puissantes, plus molles, pour ainsi dire; le bruit est moins déchirant, mais plus bref, et il semble, dans certain cas, que la décharge s'arrête avant d'être achevée.

Ce qui paraît remarquable surtout, c'est la couleur des étincelles. Des expériences de ce genre ne comportent pas une description exacte, puisque la disposition des appareils dépend des dimensions et de la nature des substances employées, ainsi que de l'état hygrométrique de l'air; mais les étincelles présentent très-nettement, suivant les cas, des teintes appartenant à toutes les couleurs du spectre solaire. On obtient aussi des étincelles dont la couleur est rouge, orangée, jaune foncé, paille verdâtre. Les étincelles de couleur rouge, indigo et violette paraissent s'émietter en filets plus minces; celles d'un vert vif sont très-difficiles à produire.

Un moyen très-commode d'apprécier la conductibilité des bandes de papier est de les tenir à la main par un bout, de mettre l'autre bout en contact avec l'une des bouteilles d'une machine en acti-

vité, et de diminuer peu à peu la longueur de la bande jusqu'à ce que l'on ressente une commotion à chaque décharge de la machine.

Les physiciens qui auront la curiosité de répéter les expériences de M. Teploff seront bien dédommagés de leur peine par la beauté des phénomènes et une variété presque illimitée dans la forme, la couleur et le bruit des décharges qui ont lieu, soit dans l'air, soit même le long des substances à conductibilité médiocre qui servent pour établir les communications. Ces apparences correspondent à une diminution manifeste dans l'énergie de la décharge; mais les particularités des étincelles sont évidemment trop complexes pour qu'il soit possible d'en aborder l'explication dans l'état actuel de la Science.

SÉANCE DU 17 JANVIER 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 janvier est lu et adopté.

M. Raffart, dans une lettre au Président de la Société de Physique annonce qu'il a breveté dès 1875 un appareil analogue au thermo-régulateur décrit par M. Benoît dans la précédente séance, et applicable aux appareils de l'industrie.

M. Benoît fait observer que l'invention brevetée par M. Raffart n'avait pas d'ailleurs été publiée; le thermo-régulateur présenté dans la précédente séance est un appareil de laboratoire, fondé sur un principe depuis longtemps connu.

Est élu membre de la Société, M. Ch. Cros.

M. Marcel Deprez décrit un indicateur électrique des pressions qu'il a fait construire pour la Compagnie du Nord.

A propos d'une Communication faite dans la précédente séance par M. Lippmann, M. Marcel Deprez propose une démonstration nouvelle de ce théorème, que l'on ne peut pas construire une ma-

chine magnéto-électrique donnant un courant continu et réversible à moins d'y introduire des contacts glissants.

En effet, si la machine supposée réversible fonctionne comme moteur, le courant fermé qu'elle contient constitue un solénoïde assimilable à un aimant; elle ne fournira donc pas de travail, car autrement on pourrait, en substituant un aimant permanent au courant, produire le mouvement perpétuel par une combinaison d'aimants permanents.

M. Lippmann présente quelques observations sur ce théorème de M. Marcel Deprez; il ajoute que la démonstration diffère entièrement de celle qui aurait été proposée dans la précédente séance.

M. Mascart décrit des expériences qu'il a faites pour vérifier que le poids de la vapeur d'eau saturée suffit pour déterminer une distillation *per descensum* dans un appareil clos maintenu à une température uniforme et constante et ne contenant que cette vapeur et des masses d'eau dont les surfaces libres planes sont à des hauteurs différentes. M. Mascart rappelle d'abord que sir W. Thomson, en s'appuyant sur l'idée de la distillation *per descensum* et sur le principe de Carnot, a démontré que la tension maximum d'une vapeur saturée est fonction de la courbure de la surface. M. Mascart montre à la Société de petits appareils en verre hermétiquement scellés et dans lesquels la distillation *per descensum* a eu lieu, avec le temps, d'une manière très-marquée, d'une surface d'eau plane à une autre surface placée plus bas. M. Mascart signale l'influence que les variations de la température ont pu avoir pour accélérer le phénomène.

M. Berthelot rappelle, à propos du théorème de sir W. Thomson, une observation ancienne de Regnault : c'est que l'on ne peut pas saturer de vapeur d'eau l'air d'un vase en mouillant simplement les parois du vase; il est nécessaire que le vase contienne une petite quantité d'eau en excès.

M. Thollon présente un spectroscope à vision directe et à grande dispersion construit par M. Laurent d'après le système qui a été décrit dans la séance du 5 janvier 1878.

M. Angot cite les expériences récemment faites par MM. Langley et Young en Amérique pour montrer le déplacement des raies dû au mouvement du Soleil.

Sont élus membres du Conseil :

Membres résidants :

MM. Bergon,
Bischoffsheim,
Dumoulin-Froment,
Jamin.

Membres non-résidants :

MM. Lecoq de Boisbaudran (Cognac),
Rossetti (Padoue),
Ternant (Marseille),
Violle (Grenoble).

Sur la proposition du Bureau, M. Alluard (Clermont-Ferrand) est élu membre du Conseil pour l'année 1879, en remplacement du R. P. Secchi (Rome).

Sont nommés membres de la Commission des comptes :

MM. Bourdon,
Deleuil,
Maurat.

Indicateur électrique des pressions; par M. Marcel Deprez.

I.

Les diagrammes fournis par les indicateurs de pression donnent, sur la marche d'une machine à vapeur, des renseignements dont l'importance est connue de tout le monde.

Ces appareils sont cependant sujets à des causes d'erreurs provenant surtout de l'inertie des pièces mobiles qui enregistrent les courbes.

On a pu, malgré ces imperfections, obtenir des résultats précieux, au point de vue économique, avec des machines à marche lente; mais ces résultats perdent toute exactitude lorsque les indicateurs sont appliqués aux machines à grande vitesse, aux locomotives par exemple.

Cette lacune était fâcheuse, car, au point de vue scientifique, ces résultats auraient permis, si leur degré de précision n'avait offert aucun doute, d'élucider certains points obscurs de l'application de la Thermodynamique à la théorie des machines à vapeur.

C'est dans ce but que j'ai étudié ces appareils et ai cherché l'élimination des causes d'erreur que je viens de signaler.

II.

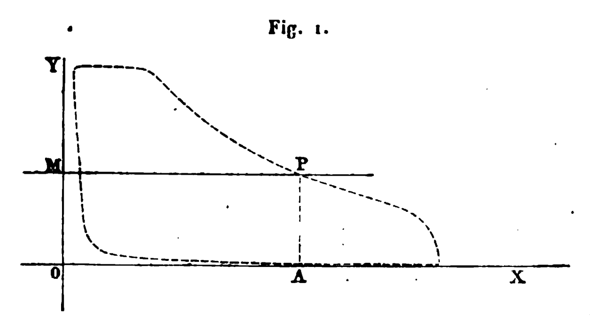
Pour remédier aux inconvénients des indicateurs jusqu'alors en usage, j'ai dû employer les moyens de recherche dont j'avais déjà fait usage dans mes études sur l'artillerie.

L'appareil que je vais décrire est, au surplus, une simplification de ceux que j'ai imaginés pour le wagon-dynamomètre de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, exposé l'année dernière au Champ de Mars.

Le principe sur lequel il repose consiste à chercher *quelles sont les positions occupées par le piston de la machine quand la pression variable de la vapeur passe par une valeur arbitraire, mais connue.*

A cet effet, j'imprime au papier sur lequel doit être enregistrée la courbe un mouvement rigoureusement semblable à celui du

Fig. 1.



piston de la machine, les chemins parcourus par ce piston constituant les abscisses de la courbe, dont les ordonnées doivent représenter les pressions correspondantes de la vapeur.

Supposons alors que la pointe du style d'un de mes enregistreurs électriques se trouvant écartée de la ligne de pression nulle OX (*fig.* 1) proportionnellement à la pression arbitraire, mais

connue, représentée par OM, dont je viens de parler, supposons, dis-je, que cette pointe de l'enregistreur vienne frapper le papier du diagramme toutes les fois que la pression de la vapeur dans le cylindre passera par cette valeur OM ; il est évident que le point P ainsi déterminé appartiendra à la courbe cherchée, car il aura pour abscisse le chemin OA parcouru par le piston et pour ordonnée AP, qui représente la pression de la vapeur égale *à la pression arbitraire, mais connue,* OM.

Cette méthode admise, il me reste à expliquer :

1° Comment j'ai pu obtenir et connaître cette pression arbitraire ;

2° Au moyen de quel dispositif le style de l'enregistreur électrique est amené à une hauteur proportionnelle à cette pression connue ;

3° Enfin, comment est enregistré le moment où la pression de la vapeur du cylindre de la machine passe par cette valeur arbitraire.

III.

La mesure de la pression arbitraire est donnée à l'aide d'une soupape autorégulatrice qui se compose d'un cylindre de bronze K (*fig.* 2), dans lequel se meut un piston N dont la tige est reliée, par son extrémité supérieure, à un ressort à pincettes H, et qui se termine à son autre bout par une soupape G fermant ou ouvrant, selon le cas, un tuyau d'échappement.

Admettons un instant que le ressort soit bandé d'une quantité déterminée, et voyons ce qui va se passer quand la vapeur de la machine arrivera en pleine pression dans le cylindre K, par l'ouverture *d'*.

La tension de la vapeur qui afflue sous le piston N peut-elle dépasser celle du ressort? Non, car, si elle la dépassait, le piston N repoussé soulèverait la soupape G et la vapeur s'échapperait.

Elle ne saurait non plus être plus petite que celle du ressort, car alors la soupape serait complétement fermée, et la vapeur, ne trouvant pas d'issue, atteindrait dans un temps très-court la pression qu'elle possède dans la chaudière.

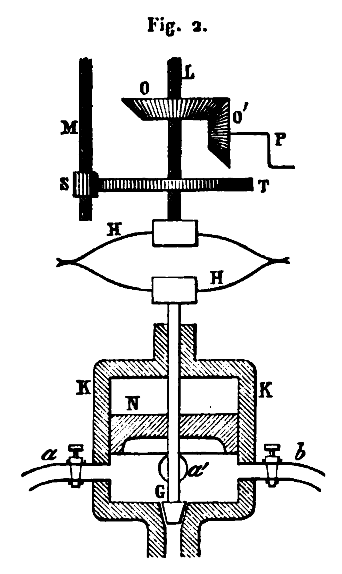
N'étant ni plus grande ni plus petite que celle du ressort, elle ne peut donc que lui être égale.

On conçoit maintenant que, si l'on peut déterminer à chaque moment les tensions successives données au ressort, on connaîtra, par conséquent, les valeurs correspondantes de la pression de la vapeur dans le cylindre K.

Le système ingénieux de cette soupape autorégulatrice est dû à M. Napoli.

D'autres dispositions auraient, par des procédés différents,

Fig. 2.



permis d'atteindre le même but, soit par exemple, pour ne citer qu'un système, en reliant par une bielle le robinet du tuyau d'admission de la vapeur de la chaudière sous le piston de l'indicateur au robinet du tuyau ouvrant la fuite.

La connexion de ces deux robinets, qui seraient calés à angle droit l'un par rapport à l'autre, permettrait d'obtenir le même effet que celui que je viens d'indiquer.

IV.

La pression arbitraire étant connue au moyen de la soupape autorégulatrice, j'ai à dire comment les styles des enregistreurs se trouvent automatiquement à une hauteur proportionnelle à cette pression.

A l'écrou qui rassemble la lame supérieure du ressort H (*fig.* 2) est fixée une vis L actionnée de bas en haut ou de haut en bas, selon qu'on veut tendre ou détendre le ressort, par les roues d'angle OO′ et la manivelle P.

La vis L est en outre munie d'une roue horizontale T, laquelle, au moyen du pignon S, fait descendre ou monter la vis V, qui porte à sa partie supérieure deux de mes enregistreurs électriques, l'un à droite, l'autre à gauche.

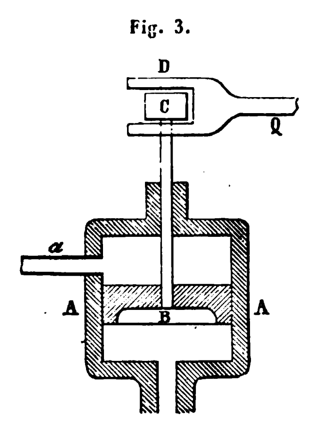
La course de ces enregistreurs est amplifiée dans le rapport des engrenages T et S qui les font mouvoir.

V.

Nous connaissons comment sont obtenues les ordonnées de la courbe du diagramme. Il me reste maintenant à décrire le dispositif à l'aide duquel est saisi le moment où la pression de la vapeur du cylindre passe par la valeur de la pression arbitraire.

Par les tubulures *a* et *b* (*fig.* 2), la vapeur, mesurée dans le cylindre K, communique avec des appareils explorateurs qui se

Fig. 3.



trouvent placés sur les faces arrière et avant des cylindres de la machine.

Chaque appareil explorateur se compose d'un petit cylindre A (*fig.* 3), dans lequel se meut un très-léger piston d'aluminium B recevant sur sa face interne la pression de la vapeur motrice et sur sa face externe la pression arbitraire venant du cylindre K.

La tige de ce piston d'aluminium se termine par un interrupteur consistant en un taquet C intercalé avec un faible jeu ($0^{mm},5$ de chaque côté) entre les deux butoirs D et E de la fourche Q, qui se relie de même façon avec le second explorateur placé sur l'autre face du cylindre de la machine.

Les taquets C et C′ des deux interrupteurs se trouvent en communication avec la pile et les enregistreurs électriques. Quand ils appuient tous deux sur les butoirs, le courant passe et aucun signal n'est produit. Quand, au contraire, un des taquets quitte un contact pour s'appliquer sur l'autre, moment très-court qui correspond à l'équilibre de la pression arbitraire et de celle de la vapeur dans le cylindre de la machine, le courant électrique est interrompu et la pointe de l'enregistreur trace un des points de la courbe du diagramme.

Si donc on fait varier au moyen du ressort H la tension de la vapeur arbitraire, de zéro à 10^{atm} par exemple, les enregistreurs fourniront une courbe des pressions de la vapeur dans le cylindre de la machine. courbe composée d'autant de points qu'il aura fallu de coups de piston ou, autrement dit, que l'on aura pris de valeurs diverses de la pression arbitraire.

VI

J'ai dit plus haut que la vis N (*fig.* 2) portait deux enregistreurs électriques. Ces instruments présentent la pointe de leurs styles à deux tambours antimoniés, sur lesquels on place le papier noirci destiné à recevoir le tracé du diagramme.

Chaque tambour Z (*fig.* 4) reçoit son mouvement circulaire alternatif du piston de la machine avec lequel il est relié.

L'axe fixe J (dont la tête est maintenue par le verrou R, afin d'empêcher les vibrations pendant la marche) porte à sa base un disque U sur lequel est fixé un des tambours Z qui reçoivent le papier.

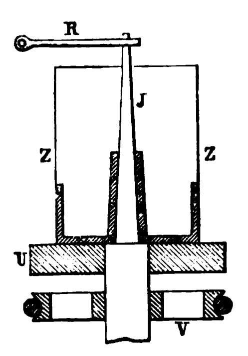
Dans la gorge de la poulie V est enroulée la corde qui communique avec la crosse du piston de la machine.

Le disque U et la poulie V sont tous deux munis d'un barillet destiné à ramener sans choc ces pièces, après chaque course du piston.

L'entraînement du disque U se fait de la manière suivante.

A la poulie V est fixée une potence portant à son extrémité, en forme de retour de sonnette, un petit galet *m*, lequel roule sur la

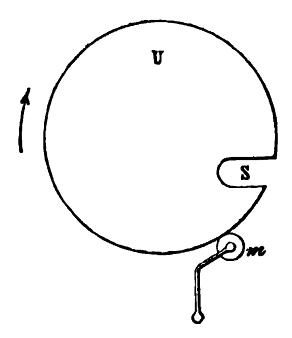
Fig. 4.



surface extérieure du disque U. Un ressort donne de l'adhérence à ce galet. D'autre part, le disque U porte sur un des points de sa circonférence (*fig.* 5) une entaille *s*.

Si, faisant tourner un peu le tambour avec la main, on présente cette entaille à la fin de course du galet *m*, on conçoit que ce der-

Fig. 5.



nier, tombant au fond de l'encoche, va entraîner le disque U et lui communiquer son mouvement circulaire alternatif. Si, au contraire, on veut immobiliser le disque U et par conséquent le tambour, il suffit de présenter le pouce à la potence et forcer ainsi le galet à sortir immédiatement de l'entaille.

Il y a lieu de remarquer que ces deux opérations s'accomplissent

lorsque le galet est à la fin de sa course, c'est-à-dire lorsque sa vitesse est nulle ou très-faible.

Il n'y a donc pas de choc et, par suite, pas de chances de rupture de la ficelle qui transmet le mouvement.

Cette disposition permet en outre de relever une série de courbes, sans pour cela avoir besoin d'interrompre le fonctionnement de l'indicateur.

Le premier appareil de ce genre a été construit avec beaucoup de soin dans les ateliers de l'ingénieur J. Carpentier. Il était destiné à la Compagnie des chemins de fer du Nord.

Spectroscopes à vision directe et à grande dispersion;
par M. Thollon.

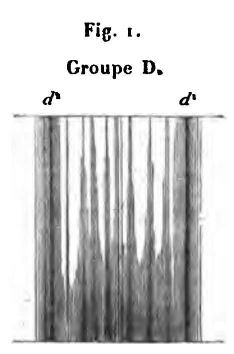
J'ai exposé dans la séance du 5 avril 1878 la théorie et la description d'un nouveau spectroscope à vision directe. L'instrument qui fut alors présenté à l'Académie et à la Société de Physique n'était qu'un modèle très-imparfait sous tous les rapports; c'était une première ébauche destinée à vérifier une théorie nouvelle. Les résultats obtenus ont été des plus satisfaisants. Les savants qui ont bien voulu l'expérimenter ont été frappés de l'étendue et de la netteté du spectre obtenu, et en particulier de la constance de mise au point de la lunette; ils m'ont tous encouragé à persévérer dans mon travail.

Désirant à la fois obtenir une grande dispersion et une grande précision de mesure, j'ai cherché, d'après les conseils de MM. Brünner, à réduire à deux le nombre des pièces mobiles, qui était de quatre dans le premier modèle. Pour ne rien perdre en dispersion, j'ai imaginé d'avoir recours à des prismes composés qui ne sont qu'une modification du prisme d'Amici. Si l'on suit dans ce dernier la marche du rayon lumineux, il est aisé de se convaincre que les faces d'entrée et de sortie agissent en sens inverse du prisme intérieur. La déviation est détruite, en même temps qu'une grande partie de la dispersion est perdue. En diminuant les angles des crowns, le prisme cesse d'être à vision directe, ce qui n'a aucun inconvénient dans le cas actuel, et la dispersion croît d'une manière

considérable. Ayant, d'après ces données, soigneusement calculé les angles du flint et des crowns pour avoir la dispersion que je désirais obtenir sans incidences ni émergences exagérées, je priai M. Laurent de me construire deux prismes composés dans lesquels l'angle du flint était de 90° et ceux des crowns de 18°. Ces prismes, essayés dans le photomètre de M. Gouy, me donnèrent exactement les résultats que j'avais calculés. Grâce à la perfection des surfaces, les raies spectrales étaient d'une netteté qui ne laissait rien à désirer. La dispersion de chacun de ces prismes était exactement équivalente à celle d'un prisme à sulfure de carbone de 60°. Il convient d'ajouter que, au moment où M. Laurent venait d'achever ces prismes composés, j'en ai vu plusieurs exactement pareils dans la vitrine de M. Grubb à l'Exposition. Ces derniers paraissent avoir été calculés seulement au point de vue du redressement des raies; quoi qu'il en soit, la priorité ne m'appartient pas.

Fig. 1.

Groupe D.



En substituant ces nouveaux prismes à ceux qui étaient dans mon premier modèle, M. Laurent a fait un instrument qui répond de tout point à ce que je désirais obtenir. La longueur apparente du spectre est d'environ 1m,80; la distance angulaire des raies D est de 1'30" : c'est à peu près la moitié de la dispersion obtenue par M. Gassiot dans son spectroscope à onze prismes à sulfure de carbone. Une vis tangente à tête divisée fait mouvoir les prismes et tourner un tambour divisé. Chaque division du tambour correspond à un tour de la vis ; les fractions de tour se lisent sur la tête de la vis elle-même. En amenant une raie sur le réticule qui se trouve dans l'oculaire, et notant le nombre de tours qu'a faits la vis et les fractions de tour, la position de cette raie est

déterminée avec la même précision qu'Angström a mise à mesurer les longueurs d'onde des principales raies de Fraunhofer. La simplicité et la symétrie de forme de cet instrument le rendent particulièrement propre à être adapté à une lunette pour l'étude du Soleil. Il convient également bien pour observer l'étincelle électrique et l'arc voltaïque, mais sa dispersion est trop grande pour les opérations ordinaires de la Chimie.

L'étude que j'ai faite des prismes composés m'a conduit à l'idée d'y remplacer le flint par le sulfure de carbone. Ayant calculé la dispersion qu'il serait possible d'obtenir par cette substitution, j'arrivai à un résultat tellement surprenant, que je crus d'abord à une erreur de calcul. Après m'être assuré que je ne m'étais point trompé, je fis construire par M. Laurent un prisme d'essai. La dispersion qu'il donna fut exactement celle que j'avais calculée. La distance angulaire des raies D était de 2'. Il faut ajouter à cela que, l'absorption étant à peu près nulle, le spectre avait un éclat remarquable dans toute son étendue.

Encouragé par ce premier essai, je me décidai à construire un instrument dont le pouvoir dispersif dépasserait celui qui a été obtenu jusqu'à ce jour. En conséquence, M. Laurent me fit deux prismes et deux demi-prismes avec retour; il les monta provisoirement sur une planchette à dessin, d'après le mode décrit (voir *Bulletin* année 1878, p. 59) mais qu'il modifia; il ne laissa qu'un levier et ajouta un engrenage. De forts ressorts antagonistes, convenablement placés, évitaient tout jeu. Le système, traversé deux fois par le rayon lumineux, est équivalent à six prismes composés; il est mis en mouvement par une vis de rappel, et tout rayon qui passe du collimateur dans la lunette a traversé tous les prismes au minimum de déviation. La distance angulaire des raies D est de 12', leur distance apparente est de 15^{mm} environ, la longueur du spectre est de 15^{m}.

J'ai profité de quelques jours de soleil pour faire, sinon des études, au moins des essais de mon appareil. Les figures ci-jointes donneront une idée de l'aspect que présentent certains groupes et des dimensions que doit avoir le spectre. Voici le résumé des observations que j'ai pu faire jusqu'à ce jour:

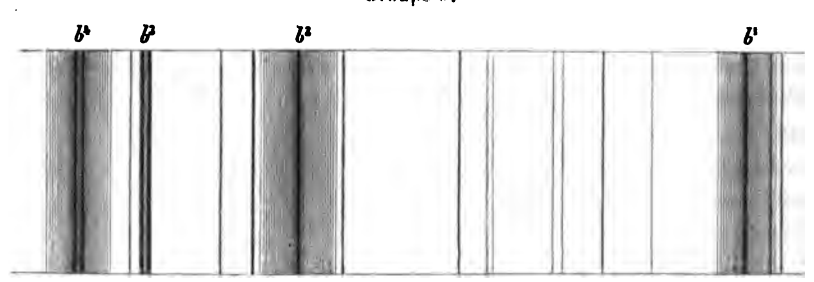
1° Dans le spectre solaire, le nombre des raies s'accroît considérablement avec la dispersion, mais il est loin de croître proportionnellement à cette dispersion.

2° Un grand nombre de raies s'élargissent, tandis que d'autres restent d'une finesse extrême.

3° Beaucoup de raies, dessinées comme simples dans les Tables d'Angström, se dédoublent : telles sont b_3, b_4, la moins réfrangible du groupe E et la célèbre raie de la couronne 1474 de Kirchhoff.

Fig. 2.

Groupe *b*.



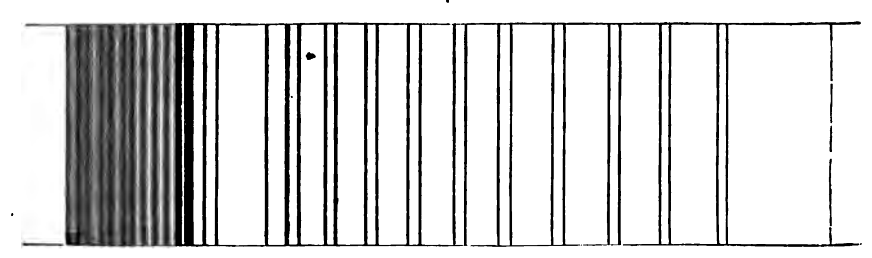
Toutes les raies que j'ai vues se dédoubler appartiennent à deux substances.

4° Les raies D_1, D_2 (*fig.* 1), b_1, b_2 et b_4 (*fig.* 2) sont constituées par un noyau noir se dégradant de part et d'autre, et d'une manière symétrique, en une nébulosité qui se perd insensiblement dans le fond brillant du spectre.

5° La raie F est une large nébulosité sans noyau, tandis que la

Fig. 3.

Groupe B.



raie C semble tenir le milieu entre la raie ordinaire et la nébulosité; elle est large et présente dans son intérieur quelque chose d'indécis et qu'il est difficile de définir.

6° Le spectre de l'arc électrique présente un fond tout strié de

raies innombrables, sur lequel se détachent en certains endroits des groupes de raies d'éclat différent et disposés avec une certaine régularité. C'est le spectre du carbone, sur lequel on voit se dessiner avec éclat les raies des divers métaux contenus dans les charbons.

7° Enfin, pensant que l'énorme dispersion de mon appareil me permettrait de vérifier aisément les déplacements de raies dus au mouvement de rotation du Soleil, j'ai disposé une expérience de la manière suivante. Un faisceau de lumière solaire, rendu horizontal et maintenu dans l'axe du collimateur par un héliostat, était reçu sur un objectif de lunette et formait sur la fente une image du Soleil. Deux prismes à réflexion totale et accolés par leurs faces hypoténuses étaient encastrés dans une monture tournante à axe horizontal et disposés entre l'objectif et l'héliostat de manière que l'axe du rayon lumineux passât par les faces hypoténuses perpendiculairement aux arêtes des angles droits. Les deux moitiés du faisceau, en traversant les prismes, se réfléchissaient sur les faces en contact et allaient former sur la fente deux images qui se superposaient. En introduisant entre les deux prismes une petite bande de papier, j'ai séparé les deux images et j'ai réussi à les rendre tangentes. J'ai fait tourner les prismes de manière à rendre tangentes les deux extrémités du diamètre équatorial et j'ai projeté ce point sur le milieu de la fente ; le spectre, alors, paraissait coupé horizontalement par une petite ombre. A leur passage dans cette ombre, les raies éprouvaient une brusque déviation et la partie inférieure n'était plus sur le prolongement de la partie supérieure. Les raies telluriques n'éprouvaient aucune déviation et permettaient de constater avec une remarquable netteté les déplacements éprouvés par les raies métalliques voisines. Les déplacements observés se rapportent très-sensiblement à ceux que donne le calcul ; ils sont, pour mon instrument, de $\frac{1}{5}$ de millimètre dans la région D.

Ces divers essais, faits à la hâte et dans des conditions désavantageuses, n'avaient d'autre but que de vérifier la valeur de mon appareil. Sans m'arrêter à tirer des faits observés des conclusions qui pourraient sembler téméraires, il m'est permis d'espérer que ce nouveau spectroscope rendra quelques services à la Science, en donnant la possibilité soit de rectifier certaines erreurs trop généralement répandues, soit d'étudier la constitution intime des raies spectrales et des bandes résolubles, soit enfin d'observer sur une

grande échelle les phénomènes qui se produisent dans les taches et les protubérances du Soleil.

Il est bon d'ajouter que les prismes composés décrits ci-dessus ne donnent d'excellents résultats qu'à la condition d'être parfaitement construits. En étudiant la manière dont ils réfractent le rayon lumineux, on voit que les faces de sortie multiplient successivement par des facteurs plus grands que l'unité l'action des faces d'entrée; les déviations irrégulières se trouvent donc amplifiées comme la dispersion. Leur confection exige une étude spéciale et des soins tout particuliers.

Nouvelles recherches sur les poissons électriques; caractères de la décharge du Gymnote; effets d'une décharge de Torpille, lancée dans un téléphone; par M. E.-J. Marey.

(Séance du 15 novembre 1878.)

Les physiologistes avaient été frappés de certaines analogies que présentent entre eux un muscle et l'appareil d'un poisson électrique. Ces deux sortes d'organes, en effet, soumis tous deux à la volonté, pourvus de nerfs à action centrifuge, ont en outre une composition chimique très-analogue et présentent dans leur structure quelques traits de ressemblance.

Mais ces vues, émises avant que les physiciens eussent formulé la théorie de la corrélation des forces, étaient nécessairement très-vagues. On peut mieux concevoir aujourd'hui que, dans l'organisme vivant comme dans nos appareils de Physique, des conditions très-analogues produisent ici du travail mécanique, là de l'électricité.

L'expérience devait montrer si réellement ces analogies existent dans le fonctionnement intime du muscle et de l'appareil des poissons électriques.

Après avoir montré que les actes musculaires sont complexes, c'est-à-dire qu'un muscle en tétanos ou en contraction exécute une série de petits mouvements successifs, que j'appelle *secousses*, qui s'ajoutent et se fusionnent pour produire le raccourcissement muscu-

laire, j'explorai la décharge de la Torpille pour y chercher aussi cette complexité. Faisant passer cette décharge à travers un appareil électromagnétique inscripteur, j'obtins le résultat que j'espérais : je vis que cette décharge est complexe, formée de *flux électriques* multiples, dont la fréquence est d'environ 150 par seconde.

Essayant ensuite sur l'appareil électrique et sur le muscle l'influence de certains agents, je constatai que de part et d'autre les résultats étaient les mêmes. Le froid, par exemple, ralentit la fréquence des secousses du tétanos musculaire et à certain degré les

Fig. 1.



éteint; une Torpille plongée dans de l'eau qu'on refroidit graduellement donne des décharges dont les flux sont de moins en moins fréquents et qui finissent par s'éteindre. La chaleur produit les effets inverses. Enfin certains poissons agissent de part et d'autre d'une manière analogue.

Les fonctions électrique et musculaire semblent donc réellement homologues entre elles et destinées à s'éclairer l'une par l'autre au grand profit de la Physiologie.

Mais, avant d'édifier une théorie aussi générale, il convenait de savoir si la multiplicité des *flux* électriques s'observe chez toutes les espèces de poissons qui donnent des décharges, de même que la multiplicité des secousses existe dans les muscles des divers animaux.

L'appareil électrique des Raies, celui du Silure du Nil, celui du Gymnote des bords de l'Amazone, doivent être explorés à cet égard.

Comme le Gymnote passe pour donner les décharges les plus fortes, je désirais vivement me procurer un de ces animaux; Faraday avait déjà réussi à en faire venir un en Angleterre.

Après d'infructueux essais, je parvins enfin à me procurer un de ces animaux vivant.

Le Gymnote était blessé et affaibli quand je le reçus; aussi me hâtai-je de faire sur lui quelques expériences. L'animal fut placé dans un grand bac rempli d'eau, puis on attacha deux plaques métalliques aux extrémités du fil d'un signal électromagnétique. Ces plaques, pressées contre le flanc du poisson, recueillirent les décharges, et j'eus la satisfaction de constater qu'elles étaient très-sensiblement pareilles à celles que donne la Torpille. On en jugera par la comparaison des deux tracés ci-joints : A est la décharge du Gymnote, B celle de la Torpille.

Cherchant ensuite si les influences de la température agissent sur le Gymnote comme sur la Torpille, je constatai que les effets sont les mêmes de part et d'autre : à 25°, le Gymnote donnait de vives décharges et avait une grande agilité musculaire; en le refroidissant, j'obtenais des décharges à *flux* plus rares; à 16°, je pouvais manier le poisson sans en recevoir de commotion.

Une indisposition assez prolongée m'empêcha de poursuivre ces expériences; le Gymnote mourut avant que je pusse les reprendre; du moins avait-il répondu aux principales questions que je voulais résoudre.

Les difficultés pour faire venir en France des poissons exotiques, et même l'impossibilité où je me suis trouvé cet été de me procurer, sur les côtes de Normandie, une Raie vivante, m'ont fait chercher un autre moyen d'analyser la décharge des poissons électriques. Le téléphone m'a semblé se prêter fort bien à cette analyse, puisqu'il rend un son quand il est traversé par des courants successifs de fréquence suffisante.

M. G. Pouchet travaillait alors à l'aquarium de Concarneau; je lui envoyai un téléphone avec les instructions nécessaires, et je reçus presque immédiatement la nouvelle que la décharge de la Torpille donne lieu à un son perceptible à distance, mais dont la tonalité est difficile à déterminer.

Tout récemment j'eus l'occasion d'expérimenter moi-même sur une Torpille et constatai que des excitations légères de l'animal provoquent un *coassement* assez bref, chacune des petites décharges provoquées ne se composant que d'une dizaine de *flux* et ne durant guère que $\frac{1}{15}$ de seconde. Mais, si l'on provoque une décharge prolongée en piquant le lobe électrique du cerveau, le son qui se produit dure trois à quatre secondes et consiste en une sorte

de gémissement dont la tonalité est voisine de mi_1 (165 vibrations), ce qui s'accorde sensiblement avec le résultat des expériences graphiques. Ce son augmente un peu en intensité et paraît s'élever un peu en tonalité quand, en remuant l'aiguille, on excite le lobe électrique du cerveau.

SÉANCE DU 7 FÉVRIER 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Itschner, principal du Collége de Béziers,
Renard, capitaine du génie à Meudon.

M. Cros expose ses recherches sur la photographie des couleurs.

M. Cornu présente un spectroscope construit d'après ses indications par M. Duboscq et destiné à l'observation des radiations ultra-violettes.

M. Niaudet présente, au nom de M. Gower, un nouveau téléphone analogue au téléphone de Bell par son principe, mais qui en diffère par le détail des dispositions adoptées et par l'intensité des sons perçus.

Les couleurs, le chromomètre et la photographie des couleurs; par M. Charles Cros.

Les couleurs proprement dites ne sont pas considérées généralement aujourd'hui comme des objets d'étude appartenant à la Physique. En effet, la plupart des physiciens actuels étudient les réfrangibilités définies par les raies spectrales, mais ne s'occupent pas de la nature spécifique des différents rayons, nature indépendante de la réfrangibilité.

On affirme que les couleurs appartiennent à la Physiologie, qu'elles n'ont pas de réalité objective.

Le mouvement lumineux n'est pas encore assez intimement connu pour que de telles déclarations soient valables. L'Optique est un peu à cet égard ce qu'était l'Acoustique, alors qu'on ne définissait les sons que par des nombres de vibrations, sans considérer le timbre.

Je distingue deux catégories comprises sous le mot de *couleurs :* les lumières et les pigments.

Les lumières élémentaires, qui par leurs mélanges produisent toutes espèces de teintes proposées, sont la lumière verte, la violette et l'orangée.

Les pigments élémentaires, qui par leurs mélanges produisent toutes les teintes proposées, sont le rouge, le jaune, le bleu.

Pour obtenir immédiatement les teintes élémentaires des lumières et des pigments, il suffit de regarder à travers un prisme une barre blanche sur fond noir et une barre noire sur fond blanc. Dans le premier cas, on voit un spectre orangé, vert, violet; dans le second cas, un spectre bleu, rouge et jaune.

Je dis que, dans le premier cas, l'orangé, le vert, le violet sont des lumières élémentaires, et que, dans le second cas, le bleu, le rouge, le jaune sont des lumières combinées deux à deux.

La discussion de la marche des rayons des deux images d'une barre blanche sur fond noir et d'une barre noire sur fond blanc démontrerait cette proposition; mais je préfère, dans cette courte Note, la démontrer par l'appareil que j'ai l'honneur de présenter à la Société de Physique sous le nom de *chromomètre.*

Dans une caisse noircie à l'intérieur, je dispose, parallèlement entre elles, trois glaces sans tain, formant des angles de 45° avec la paroi. Trois ouvertures, dont les images virtuelles dans les trois glaces viennent se placer en un même lieu apparent, sont munies d'écrans colorés liquides. Ces écrans sont des cuves plates en glaces, remplies des solutions suivantes : solution rouge de chlorure de cobalt, additionné d'un peu de sulfocyanure de potassium; solution jaune de chromate neutre de potasse; solution bleue de nitrate de cuivre. Je fais deux cuves de chaque couleur.

Ces solutions, qui ne sont pas peut-être les meilleures, devront être exactement dosées, et les épaisseurs des cuves être mesurées.

Soient les trois ouvertures A, B, C. Je place devant A deux cuves rouges, devant B deux cuves jaunes, devant C deux cuves bleues. Je regarde devant les glaces sans tain et je vois les trois reflets qui, en se combinant, donnent du blanc (si l'éclairage est égal pour chaque ouverture).

Si je masque A au moyen d'un écran opaque, je n'ai plus que deux reflets qui se combinent, celui du bleu et celui du jaune. L'apparence obtenue est celle d'un blanc moins éclairé; donc la lumière jaune et la lumière bleue additionnées ne font pas de vert. Le fait a été déjà annoncé par M. Helmholtz, dans des conditions analogues.

Si je masque B, les deux reflets rouge et bleu se combinent seuls, et la teinte est encore du blanc faiblement violacé. Enfin, en masquant C, on obtient toujours du blanc teinté d'orangé.

Alors je combine les cuves deux à deux, jaune et bleu, bleu et rouge, rouge et jaune, de manière que les écrans doubles ne laissent passer respectivement que du vert, du violet, de l'orangé. Les trois reflets combinés donnent du blanc, comme précédemment.

Mais, si l'on masque successivement A, B et C, les apparences changent complétement. Quand on supprime le *vert*, le fond se colore en *rouge carmin pur*, tel qu'on le voit dans le spectre trichrome de la barre noire sur fond blanc; quand on supprime le violet, le fond devient *jaune pur*, tel qu'on le voit dans le même spectre; quand on supprime l'orangé, le fond devient *bleu pur* ([1]).

J'ai nommé cet appareil *chromomètre*, parce qu'il peut servir à distinguer les couleurs les unes des autres par des données numériques. En effet, pour faire varier à l'infini la teinte résultante du champ visible, il suffit de faire varier l'éclairage de chaque ouverture. Tous les procédés photométriques sont bons pour cela; je me propose d'employer la méthode d'Arago, par la lumière polarisée. Mais je n'ai pu me permettre la construction coûteuse d'un tel appareil, et je me borne, dans l'instrument réalisé, à faire varier les éclairages en interposant des doubles plus ou moins nombreux de papier translucide.

([1]) Pour la commodité de la présentation à la Société de Physique, j'ai remplacé ces systèmes de cuves par des verres respectivement colorés en violet, vert et orangé au moyen de collodions aux couleurs d'aniline.

Deux feuilles de papier mince collées sur verre reçoivent des épaisseurs d'encre de Chine variant régulièrement d'un bout à l'autre, et on les place devant le violet et l'orangé, les épaisseurs en sens inverse; enfin, une troisième feuille reçoit les épaisseurs maxima au milieu et les épaisseurs minima à ses deux bouts; elle est placée devant le verre vert. Le champ visible présente alors l'aspect du spectre de la barre noire sur le fond blanc; si l'on veut obtenir l'apparence du spectre de la barre blanche sur fond noir, il faut substituer au troisième papier un papier qui soit à celui-là ce qu'un positif photographique est à son négatif, c'est-à-dire avec les épaisseurs maxima aux deux bouts et l'épaisseur minimum au milieu.

Une des applications les plus curieuses du chromomètre est la suivante :

J'obtiens trois clichés d'après un tableau coloré quelconque, le premier cliché à travers un écran vert, le second à travers un écran violet, le troisième à travers un écran orangé. Ces écrans sont encore des cuves plates en glaces, contenant des solutions colorées titrées. Je remarque, en passant, que l'inégalité d'actinisme de ces différentes lumières est complétement compensée par diverses substances colorantes organiques, dont j'imprègne les plaques sensibles.

Les clichés obtenus sont formés d'argent réduit, comme les clichés ordinaires. J'obtiens les positifs noirs sur verre de ces clichés, et je place chacun de ces positifs, dans le chromomètre, devant l'écran de même couleur que celui qui a servi à tamiser les rayons dans l'obtention du cliché correspondant.

Je fais coïncider les trois reflets, et l'apparence résultante est celle du tableau modèle si l'on règle convenablement les trois éclairages.

J'ajoute quelques mots sur les pigments. Ce qu'on appelle la *couleur rouge matérielle* est une substance qui *supprime le vert* de la lumière blanche; il ne reste donc, des trois lumières élémentaires, que le violet et l'orangé, dont la *somme* est du rouge. De même, le pigment jaune est celui qui supprime la *lumière violette*, le pigment *bleu* supprime la *lumière orangée*.

J'en ai conclu que, en réalisant sur une même surface blanche les trois positifs en rouge, en jaune et en bleu, on obtiendrait sur

cette surface l'image du modèle coloré. L'expérience, réalisée soit par la taille-douce, soit par le procédé sur gélatine de M. Poitevin, a confirmé mes prévisions. J'ai eu l'honneur de montrer quelques spécimens de ces tirages à la Société de Physique ([1]).

J'ai donc trouvé les moyens physiques de reproduire les couleurs par la Photographie; ces moyens sont susceptibles de mesures exactes, et, partant, les résultats peuvent sans cesse s'approcher de la perfection. En outre, ces résultats sont bien photographiques, c'est-à-dire que la main de l'homme n'y intervient que pour des opérations appliquées à la totalité de la surface, d'où l'obtention également aisée des modèles les plus détaillés.

Spectroscope destiné à l'observation des radiations ultra-violettes ([2]); par M. A. Cornu.

Le spectroscope que j'ai l'honneur de présenter à la Société ressemble complétement au spectroscope à deux prismes répandu dans les cabinets de Physique et les laboratoires de Chimie; il en diffère par la nature des matières transparentes qui entrent dans sa construction, car les matières employées ordinairement à la construction des spectroscopes, à savoir le crown-glass et le flint-glass, absorbent les radiations ultra-violettes au moins depuis la raie O, c'est-à-dire depuis la longueur d'onde égale à $\lambda = 340$ millionièmes de millimètre.

La description des diverses parties de cet instrument me fournira l'occasion de résumer une série d'études relatives à l'observation des radiations très-réfrangibles.

Collimateur et lunette. — L'objectif qui forme la partie essentielle du collimateur comme de la lunette est sensiblement achromatique; il est composé d'une lentille biconvexe de quartz et d'une lentille divergente plan concave de spath d'Islande, toutes deux

---

([1]) J'ai pu faire cet ensemble de recherches pratiques grâce à l'aide éclairée de M. le duc de Chaulnes, à qui je témoigne ici ma reconnaissance.

([2]) Construit dans les ateliers de M. Jules Duboscq.

taillées perpendiculairement à l'axe optique. Cette composition de l'objectif est extrêmement utile pour l'observation des spectres ultra-violets, en général, et surtout du spectre solaire, parce que dans toute l'étendue des radiations ultra-violettes du Soleil, que l'atmosphère terrestre laisse arriver jusqu'à nous, les objectifs sont presque rigoureusement achromatiques. Il en résulte que la variation du tirage de la lunette et du collimateur nécessaire pour passer d'une partie à l'autre du spectre est sinon nulle, du moins extrêmement faible; l'observation photographique ou fluorescente des spectres devient alors extrêmement simple; dans le cas du spectre solaire, l'achromatisme est assez satisfaisant pour qu'on puisse obtenir sur le même cliché la *totalité* du spectre chimique, depuis la raie F jusqu'à la limite extrême (raies S, T, U) la plus réfrangible.

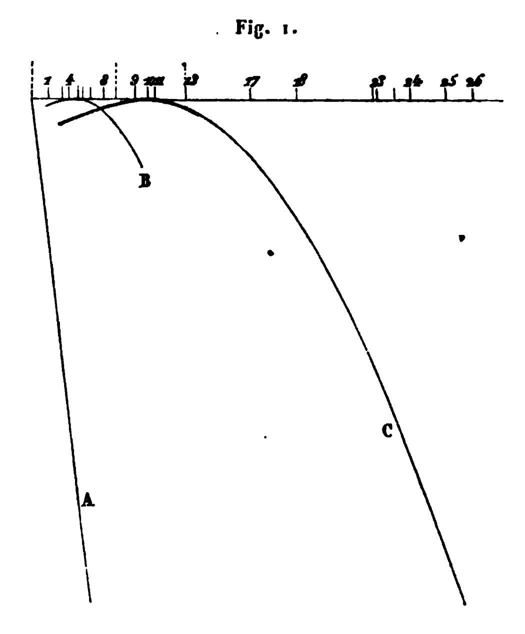
La perfection des images n'est pas absolument la même sur tous les points du champ, parce que la surface focale est légèrement courbe; mais on peut, par une série d'essais méthodiques, arriver à déterminer un plan focal moyen qui rend l'ensemble de l'image très-satisfaisant. On peut encore améliorer les résultats par divers artifices qu'il serait trop long d'énumérer, et qui consistent soit à incliner légèrement le plan de la surface focale adoptée, soit à obtenir la compensation réciproque des petites aberrations d'obliquité et de courbure des objectifs et des prismes.

Pour donner une idée des conditions de l'achromatisme que produit la combinaison quartz-spath d'Islande, je comparerai la variation de tirage de la lunette d'un spectroscope formé par des objectifs crown-glass dans l'observation du spectre solaire et du même spectroscope formé avec des objectifs quartz-spath ayant sensiblement la même distance focale moyenne; enfin, j'indiquerai la variation focale correspondant à des objectifs simples de quartz, employés d'ordinaire à ces observations (*fig.* 1).

Les abscisses de ces courbes représentent les déviations minima du rayon ordinaire d'un prisme de 60° en spath d'Islande, à l'échelle de $2^{mm},5$ pour 1°. Les ordonnées représentent en vraie grandeur les variations du tirage de la lunette mise au point sur la radiation correspondant à l'abscisse, le tirage du collimateur restant fixe à une valeur moyenne correspondant à une distance focale d'environ $0^{m},45$. La ligne ainsi formée représente *à peu près* la *courbe focale* des diverses radiations dans

une position moyenne du prisme, l'objectif étant fixe. D'après la figure, l'objectif serait situé au-dessus à la distance de $0^{m},45$; il en résulte que la partie du champ pour laquelle l'achromatisme est sensiblement parfait est celle qui se trouve dans le voisinage du minimum de distance focale. On aurait la loi de répartition linéaire ou de superposition des foyers des diverses radiations pour l'image d'un point lumineux en supposant que la courbe s'aplatisse de plus en plus par la diminution de l'échelle des abscisses.

Fig. 1.



On voit que l'objectif crown-glass-flint-glass, très-satisfaisant pratiquement au point de vue de l'achromatisme des images, n'est pas meilleur que comme groupement des foyers à côté de l'objectif quartz-spath, pour une même étendue de spectre de part et d'autre du minimum de foyer [1].

---

(1) L'examen de ces courbes est très-instructif au point de vue de l'étude de l'achromatisme et donnerait lieu à une discussion dont voici brièvement les résultats :

1° Les courbes précédentes, qu'on peut obtenir empiriquement par l'observation de la variation du tirage, se déduisent très-simplement de la *courbe d'achromatisme* (voir *Journal de Physique*, t. III, p. 108) construite en prenant comme abscisse et

Ces objectifs achromatiques ont donc un grand avantage, au point de vue de la facilité et de la rapidité des observations, sur les lentilles simples de quartz; mais ils ont un inconvénient qu'il est juste de signaler: c'est l'imparfaite transparence du spath d'Islande pour les radiations très-réfrangibles. Ces objectifs, en effet, laissent voir avec la plus grande facilité les raies de l'étincelle du cadmium jusqu'au n° 25 (d'après la notation de M. Mascart, *Annales de l'École Normale,* 1re série, t. IV, p. 7), raie 26 du même métal, les raies 27, 28, 29 du zinc, et même, à la rigueur, la raie n° 30 de l'aluminium (notation de M. Soret, *Archives de la bibliothèque de Genève,* mars 1878, t. LXI); mais les raies 31 et 32 de l'aluminium sont complétement absorbées: avec les lentilles simples de quartz (et un prisme de quartz), ces raies, les plus réfrangibles qu'on ait observées jusqu'ici, apparaissent, au contraire, avec un assez vif éclat.

On atténue le pouvoir absorbant de ces objectifs en diminuant autant que possible l'épaisseur de la lentille divergente de spath d'Islande.

Les rayons de courbures adoptés pour la taille des objectifs sont les suivants; ils sont exprimés en fonction de la distance focale F de la lumière jaune de la soude (raie D):

Quartz perpendiculaire à l'axe.

Surface convexe extérieure...... $R = -0{,}4151\,F$
» intérieure..... $R' = 0{,}3631\,F$

Spath d'Islande perpendiculaire à l'axe.

Surface concave intérieure...... $R' = -0{,}3631\,F$
» extérieure...... $R'' = \infty$

Ces courbures conviennent plus spécialement à l'étude du

comme ordonnée l'indice de réfraction de chaque radiation des deux matières à achromatiser.

2° Les petits changements de courbure ou d'écartement des deux lentilles ne modifient pas sensiblement les courbes représentées plus haut dans leur forme absolue; la modification équivaut à un changement dans la direction des axes coordonnés, de sorte que l'on peut se rendre immédiatement un compte très-exact de la répartition des foyers si la distance focale minimum correspond à une autre radiation.

spectre solaire ultra-violet, qui s'étend jusqu'à la longueur d'onde $\lambda = 294$, c'est-à-dire presque jusqu'à la raie n° 17 du cadmium. Dans cette étendue, le champ est symétrique par rapport à la raie n° 10, c'est-à-dire de longueur d'onde $\lambda = 347$, et présente une très-faible courbure. Si l'on diminuait un peu le rayon de la courbure R de la surface extérieure du quartz, on repousserait vers la partie la plus réfrangible le sommet de la courbe, c'est-à-dire le centre de symétrie du champ.

Ces courbures ne sont pas celles qui donnent théoriquement le minimum d'aberration de sphéricité; mais au point de vue pratique ce sont celles qui donnent les meilleures images, à cause des difficultés que présente la taille et le poli du spath d'Islande; en effet, les opticiens sont mieux outillés pour polir des surfaces planes que les surfaces courbes de spath; on a donc intérêt à supprimer la face très-peu courbe donnée par la théorie et à la remplacer par une face plane, qui, d'ailleurs, altère fort peu les conditions du minimum d'aberration sphérique.

On a essayé, pour atténuer l'imperfection de la surface concave de spath d'Islande, de *coller* avec un mastic réfringent (le baume de Canada ou le mastic en larmes) les deux surfaces en contact; mais le pouvoir absorbant de ces résines est tellement considérable pour les radiations ultra-violettes que, malgré la minceur de la couche interposée ($\frac{1}{10}$ de millimètre à peine) et la transparence de la matière employée, l'absorption commençait déjà à la raie n° 10 du cadmium ($\lambda = 346$), c'est-à-dire avant la fin du spectre solaire. Il a suffi de plonger les objectifs dans l'éther pour dissoudre le mastic et rendre aux objectifs leur transparence primitive.

Certains liquides peuvent néanmoins être utilisés pour le *collage*. Ainsi l'eau, l'alcool ou mieux la glycérine bien pure et bien décantée ne produisent aucune absorption sensible jusqu'à l'extrémité du spectre observable, sous l'épaisseur nécessaire à cette opération. On pourrait donc, dans certains cas où la finesse des images devrait être poussée un peu plus loin, se servir de cet artifice très-simple, à la condition de ne pas prolonger l'action des liquides sur le spath, dont la surface polie pourrait être altérée.

Enfin, une précaution qui contribue à la perfection des images

consiste à adopter pour les lentilles de quartz des épaisseurs égales et de pouvoir rotatoire inverse; on élimine ainsi, par compensation, des effets secondaires qui ne pourraient que troubler la netteté des foyers.

Prismes. — Le choix de la nature des prismes a nécessité aussi diverses études. Le spath d'Islande a l'avantage de présenter une très-forte dispersion dans le rayon ordinaire, mais il a l'inconvénient d'être difficile à bien tailler, et surtout d'absorber les radiations très-réfrangibles. Ce dernier inconvénient est bien plus grave pour le prisme, dont l'épaisseur moyenne est nécessairement considérable, que pour les objectifs dont l'épaisseur peut être beaucoup réduite. Aussi, avec un prisme de spath d'Islande, est-il difficile de dépasser la raie n° 26 du cadmium; encore faut-il observer le rayon extraordinaire qui paraît un peu moins absorbé que le rayon ordinaire.

La taille la plus favorable du prisme de spath d'Islande est celle pour laquelle l'arête est parallèle à l'axe optique; l'angle le plus usité est celui de 60°. Les deux spectres ordinaire et extraordinaire sont entièrement séparés et présentent des dispersions à peu près dans le rapport de 2 à 1.

Le quartz doit être préféré au spath si l'on veut observer jusqu'à l'extrême limite des radiations réfrangibles; d'un autre côté, il prend un poli d'une perfection incomparable à cause de sa grande dureté. Il offre toutefois, dans ses propriétés optiques, diverses particularités gênantes dont il a fallu éliminer les effets avant d'obtenir les meilleurs résultats.

La première particularité défavorable est la faiblesse de la biréfringence; les deux spectres ordinaire et extraordinaire sont superposés. On a souvent tourné cette difficulté en profitant de la polarisation des deux rayons pour éteindre l'un d'eux par un polariseur ou un analyseur convenablement placé; mais on tombe dans des difficultés d'un autre ordre provenant, d'une part, du pouvoir rotatoire des lentilles de quartz qui constituent les objectifs du spectroscope, et, d'autre part, de la construction d'un polariseur n'absorbant pas les radiations ultra-violettes.

Quoique je sois parvenu à une disposition additionnelle assez simple pour résoudre la difficulté, je n'ai pas considéré cette solution comme applicable à un spectroscope d'usage courant. En

effet, la multiplicité des surfaces réfringentes élimine une quantité notable de lumière, et, comme on opère déjà sur des rayons dont l'intensité est diminuée de moitié par la double réfraction, on risque de réduire à une fraction trop faible l'éclat des radiations à observer.

Il faut donc éviter la biréfringence et, pour cela, prendre l'axe optique du quartz perpendiculaire au plan bissecteur du prisme. Mais ici se présente la seconde particularité défavorable du quartz, à savoir le pouvoir rotatoire, qui dédouble les rayons incidents en deux rayons circulaires de rotation inverse. La biréfringence est, il est vrai, très-faible et n'a pas d'inconvénient sensible dans certaines expériences, comme celles de M. Stockes, lorsque l'on opère par projection sur un écran fluorescent; mais, dans les observations délicates, les images sont dédoublées et l'écartement croît rapidement avec la réfrangibilité. Ainsi on retombe sur les mêmes inconvénients.

Mais cette fois on peut aisément tourner la difficulté : il suffit de composer le prisme de deux moitiés de rotation contraire, la face intérieure étant perpendiculaire à l'axe. On obtient ainsi des images dont la netteté ne dépend plus que de la perfection des faces.

Par l'artifice indiqué plus haut, à savoir le collage des deux surfaces contiguës à l'aide d'une goutte d'eau, d'alcool ou de glycérine, on élimine l'influence de ces deux surfaces, tant au point de vue de l'imperfection de leur forme qu'à celui de la perte de lumière causée par l'interposition d'une lame d'air.

Dans le cas où l'on veut obtenir une dispersion double, la compensation du pouvoir rotatoire est plus simple encore : il suffit d'employer deux prismes de quartz ayant leurs plans bissecteurs perpendiculaires à l'axe optique, mais présentant des pouvoirs rotatoires de sens contraires. La dispersion est alors sensiblement la même que celle du rayon ordinaire du spath d'Islande, et on a l'avantage de la transparence complète et de la perfection du poli des faces.

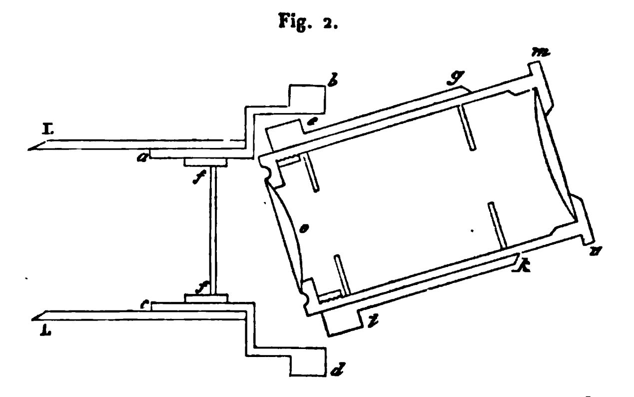
C'est la disposition adoptée dans le spectroscope que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de la Société.

Mode d'observation. — La précision des observations atteint un haut degré de perfection lorsqu'on emploie la Photographie.

Les dispositions très-simples à adopter ont été décrites par différents observateurs ([1]). Les clichés que l'on obtient ainsi ont une grande finesse et supportent des grossissements de 25 diamètres. On peut les conserver et les étudier à loisir, ce qui rend les observations encore plus précieuses. Le petit châssis porte-plaque que j'ai décrit ([2]) s'applique au spectroscope avec la plus grande facilité.

Mais, pour les usages courants et même pour préparer l'emploi de la Photographie, le mode d'observation le plus commode est l'emploi d'un oculaire fluorescent imaginé par M. Baille ([3]), et amené à une grande perfection par M. Soret (voir *Journal de Physique,* t. III, p. 253). A l'aide de cet oculaire (*fig.* 2), formé essentiel-

Fig. 2.



lement d'une lame fluorescente *ff* (verre d'urane) de 1^{mm} d'épaisseur, que l'on observe obliquement par transparence dans le plan des raies sous une incidence de 20° à 30°, les raies brillantes des vapeurs métalliques s'observent avec une grande facilité : il suffit de faire jaillir l'étincelle d'une bobine d'induction de grandeur moyenne, avec intercalation d'une bonne bouteille de Leyde entre deux électrodes du métal à étudier. La fente peut être amenée jusqu'à une assez grande finesse, à la condition de mettre la lame de verre d'urane exactement au foyer des radiations observées.

Pour s'exercer à ces observations, je conseille d'étudier d'abord

([1]) Becquerel, *La lumière.* — Mascart, *Annales de l'École Normale,* 1re série, t. I. — Cornu, *Ibid.*, 2e série, t. III, p. 241.

([2]) *Ibid.*, *ibid.*

([3]) *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers,* 1867.

le spectre du magnésium, qui présente une raie quadruple excessivement intense ($\lambda = 280$) un peu au delà de la limite du spectre solaire. C'est, toutes choses égales d'ailleurs, la radiation ultra-violette très-réfrangible de beaucoup la plus intense que l'on puisse obtenir avec les métaux usuels. Les quatre composantes sont assez resserrées pour que l'ensemble puisse servir dans une foule de cas de source monochromatique.

Ensuite on s'exercera à observer les raies du cadmium, puis celles du zinc et enfin celles de l'aluminium, dont les plus réfrangibles forment la limite des radiations observables.

L'étude du spectre solaire est plus délicate lorsqu'on veut la pousser un peu loin. Il faut prendre beaucoup de précautions pour éviter les reflets à l'intérieur de l'oculaire fluorescent, et pour cela ajouter, à $0^m,02$ en avant de la lame fluorescente, un diaphragme d'ouverture aussi petite que possible; malgré cette précaution, on n'atteint pas la limite à laquelle on parvient avec la Photographie.

Pour obtenir plus de finesse dans les détails, sauf à perdre un peu d'éclat, il est bon de réduire l'épaisseur du verre d'urane à $0^m,5$; on doit même le remplacer, ainsi que l'indique M. Soret, par une petite cuve d'une solution d'esculine pour observer la région LMN, dans laquelle la fluorescence du verre d'urane est très-faible.

Repères. — La position des raies s'obtient surtout par comparaison avec un spectre déjà connu, et en particulier avec les raies du spectre solaire. On projette la raie dont on veut connaître la longueur d'onde sur le trait-réticule du verre d'urane, et l'on substitue à la source un faisceau solaire; mais on ne peut guère dépasser la longueur d'onde $\lambda = 300$.

Si la lunette du spectroscope est munie d'un mouvement micrométrique, on peut opérer sur toute l'étendue du spectre ultra-violet en rapportant les observations aux raies du cadmium, du zinc et de l'aluminium, qui forment une échelle suivant les conventions de MM. Mascart, Soret et Sarrazin.

Pour des observations moins précises, on peut se contenter de l'image d'une échelle divisée réfléchie sur la deuxième face du dernier prisme, comme dans les spectroscopes ordinaires. L'image de cette échelle est amenée dans le plan de la lame fluorescente, à la hauteur de la croisée des traits-réticules. On amène la raie à dé-

finir (observée obliquement par fluorescence) sur la croisée des traits, puis on abaisse l'oculaire de manière à voir par transparence les traits de l'échelle divisée : la croisée des traits définit sur l'échelle la position de la raie. On peut ainsi, indirectement il est vrai, mais d'une manière simple et rapide, construire la carte des spectres ultra-violets avec presque autant de facilité que celle des spectres visibles.

Téléphone de M. Gower; par M. A. Niaudet.

On connaît les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour créer des téléphones.

Il faut mentionner pour mémoire les téléphones dits *musicaux*, qui sont fondés sur l'emploi de courants interrompus, qui reproduisent la hauteur des sons, qui peuvent à la rigueur trahir quelque différence dans l'intensité, mais qui ne peuvent en aucune façon donner le sentiment du timbre, ni, à plus forte raison, reproduire l'articulation, c'est-à-dire ces formes d'attaque des voyelles qui répondent aux consonnes.

On sait que les téléphones que M. Bell a appelés *articulants*, par opposition à ceux dont on vient de parler, sont fondés sur l'emploi de courants que l'illustre inventeur a appelés *courants ondulatoires*.

Ces courants sont caractérisés par des variations dans l'intensité qui peuvent être représentées par une sinusoïde, c'est-à-dire par la courbe qui représente les mouvements vibratoires. Ces variations périodiques, régulières, de l'intensité peuvent être obtenues soit par des variations de la force électromotrice, soit par celles de la résistance.

Les téléphones d'Edison et les microphones sont des appareils répondant au second mode de production, c'est-à-dire aux variations de la résistance.

Le téléphone de Bell et celui de M. Gower sont de l'espèce des appareils qui agissent par des variations de la force électromotrice.

On a souvent discuté la question de savoir si l'une de ces caté-

gories présente plus de facilité que l'autre pour la reproduction de sons très-intenses.

Il est certain que, si l'unique force en jeu est celle qui réside dans l'émission de la voix, on ne peut espérer qu'une reproduction affaiblie des sons émis; et, si perfectionné que puisse jamais être un téléphone du genre de celui de Bell, il ne pourra jamais faire entendre à distance un son quelconque sans l'affaiblir.

D'autre part, si l'on met en jeu une pile, c'est-à-dire une force étrangère, la question est moins simple; le raisonnement que nous avons fait plus haut n'est pas applicable; mais ce n'est pas le courant lui-même avec son intensité qui produit l'effet acoustique, ce sont seulement les variations de ce courant. On est donc en doute sur l'avenir des téléphones à résistance variable.

En attendant que cette question soit éclaircie, M. Gower, qui est un champion du téléphone magnéto-électrique, a réalisé un appareil qui donne des résultats certainement inattendus. Pour les obtenir, M. Gower a mis en œuvre les aimants les plus forts qu'il a pu obtenir; il a employé de l'acier d'Allevard, qui est considéré, depuis les nombreuses comparaisons faites par M. Jamin, comme le meilleur pour cet usage particulier; il a donné à ces aimants une forme qui se rapproche d'un cercle entier à peine ouvert entre les deux points où l'on amène les pôles; il a donné le magnétisme à ces aimants en faisant usage de courants très-intenses obtenus avec une machine de Gramme, et probablement plus puissants qu'il n'est nécessaire pour atteindre le maximum d'aimantation; il a fait usage de bobines méplates qui lui ont donné de meilleurs résultats que les bobines cylindriques, sans doute parce que l'on peut les rapprocher davantage du centre de la membrane.

L'appareil est placé dans une boîte de laiton d'un volume très-réduit, et dont la sonorité propre est, par conséquent, minimum.

La membrane est montée sur un couvercle de laiton dans l'épaisseur duquel une cavité extrêmement mince est réservée, ce qui est fort important, car il est absolument nécessaire, si l'on veut obtenir une reproduction exacte des articulations, d'éviter tous effets de résonnance qui prolongent chaque son après le moment où il doit cesser pour laisser entendre celui qui lui succède.

C'est grâce à ces heureuses dispositions que l'on peut faire entendre un air de musique à toute une assemblée et, ce qui est plus

extraordinaire, faire entendre des paroles articulées à tout un cercle de quelques mètres de rayon.

L'intensité des sons n'est pas diminuée par l'emploi d'un tuyau acoustique de 1m de long, soit au récepteur, soit au transmetteur; mais, avec cette addition, l'appareil n'est à l'usage que d'un seul auditeur à la fois.

Enfin, M. Gower a ajouté à son appareil un complément fort important, c'est-à-dire un appel analogue au sifflet des tuyaux acoustiques, appel fonctionnant sans l'assistance d'aucun courant étranger, d'aucune pile.

Voici en quoi consiste cet organe additionnel : sur la membrane, et placé excentriquement, est monté un petit tube ouvert d'un côté sur le dessus de la membrane, de l'autre à l'intérieur de la boîte. Ce tube contient une anche vibrante. Quand on souffle par le tuyau acoustique, on fait vibrer l'anche et elle rend un son assez intense; ses vibrations se communiquent directement à toute la membrane qui lui sert de support, et les excursions de cette membrane sont fort étendues. Elles ont pour effet la production de courants d'induction ondulatoires plus intenses que ceux qui se produisent habituellement dans les téléphones. Ces courants, transmis à un récepteur identique, y font répéter le son de l'anche avec une intensité suffisante pour constituer un appel convenable presque à tous les usages.

Pour qu'il n'y ait pas de malentendu, insistons sur ce point : les deux téléphones, transmetteur et récepteur, sont identiques et ont chacun leur anche vibrante; mais l'anche n'entre en jeu que dans le transmetteur et seulement quand on souffle, car, si l'on parle, on ne produit pas de courant d'air, mais seulement des vibrations de l'air. Enfin, il est très-remarquable que le poids relativement grand du tube et de l'anche ne trouble pas la netteté des sons articulés; il paraît même l'augmenter. On peut admettre qu'il joue ici le rôle d'étouffoir et supprime les effets de résonnance de la membrane, qui sont souvent appréciables dans les expériences téléphoniques et qui ne peuvent que nuire à l'effet cherché.

La sensibilité de l'instrument est telle, que l'on peut, en se plaçant à quelques mètres du transmetteur et parlant à haute voix, se faire entendre au récepteur placé dans une station éloignée; on

peut même pousser l'expérience jusqu'à tourner le dos au téléphone transmetteur, sans que le correspondant cesse d'entendre les paroles nettement et fortement prononcées.

SÉANCE DU 21 FÉVRIER 1879.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bousquet, maître-adjoint à l'École Normale de Barcelonnette (Basses-Alpes).

Claude Couhin, avocat à la cour d'Appel de Paris.

Kowalski, professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, à Bordeaux.

Joseph Riban, directeur-adjoint du laboratoire d'enseignement chimique et des hautes Études, à la Sorbonne.

M. Duter expose la suite de ses recherches sur un phénomène nouveau d'électricité statique.

M. Trouvé présente un avertisseur téléphonique, imaginé par M. le capitaine d'artillerie Perrodon, et que M. Trouvé a réalisé pratiquement en appliquant son système d'interrupteur à came et à aiguille qui fait partie des appareils électro-médicaux déjà soumis à la Société.

M. Joubert présente un nouvel électroscope à feuilles d'or, construit par M. Guéroult.

Phénomène nouveau d'électricité statique; par M. E. Duter.

J'ai continué mes expériences (1) sur les changements de volume de la lame isolante de la bouteille de Leyde.

---

(1) Voir *Bulletin*, année 1878; p. 198.

Pour obtenir des résultats dont l'interprétation soit simple, j'ai fait construire, par M. Alvergniat, deux ballons de verre terminés par deux tubes thermométriques gradués; leurs rayons sont égaux respectivement à $43^{mm},15$ et à $43^{mm},09$, c'est-à-dire identiques; les épaisseurs sont différentes, $0^{mm},5$ pour le premier ballon, que je nommerai A, et $0^{mm},8$ pour le second, que je nommerai B; chaque division des tubes gradués qui servent à mesurer les changements de volume a une capacité de $0^{mmc},250$.

Cela posé, les ballons sont remplis d'eau à l'intérieur, revêtus d'étain à l'extérieur, et les bouteilles de Leyde ainsi formées sont électrisées. On observe alors les changements de volume correspondant à des différences de potentiel des armatures, mesurées par la distance explosive de l'étincelle qui peut éclater entre ces deux armatures. L'expérience se fait très-facilement au moyen d'un micromètre à boules; on trouve ainsi que dans une même bouteille les accroissements de volume sont proportionnels aux carrés des différences de potentiel des armatures, et que, dans deux bouteilles qui ne diffèrent que par l'épaisseur, ces mêmes accroissements varient en raison inverse de la simple épaisseur. Je donne ici les résultats comparatifs du calcul et de l'expérience relatifs aux bouteilles A et B; h est la variation de volume exprimée en nombre de divisions des tubes mesureurs, et d est la distance explosive de l'étincelle entre les deux armatures.

	h.			
	Bouteille A.		Bouteille B.	
d.	Mesuré.	Calculé.	Mesuré.	Calculé.
4......	1	0,98	»	»
5......	1,50	1,50	0,90	0,93
6......	2,20	2,16	1,40	1,35
7......	3	2,94	1,80	2,83
8......	3,80	3,84	2,40	2,40
9......	5	4,86	3	3,03
10......	6	6	3,75	3,75
11......	7,25	7,28	4,50	4,53
12......	8,60	8,64	5,40	5,40
13.	10	10,14	6,25	6,33
14......	»	11,76	7,30	7,35
15.	»	13,50	7,50	8,43

La loi énoncée se vérifie donc avec beaucoup d'exactitude et se traduit par l'équation

$$u = \frac{kV^2}{e},$$

où u est l'accroissement du volume de la bouteille, e son épaisseur, V la différence de potentiel de ses armatures, et k un coefficient caractéristique de la nature de la lame isolante.

Si les changements de volume observés étaient dus à la pression électrique, ils ne seraient pas en raison inverse de e, mais bien en raison inverse de e^2; il est, d'ailleurs, facile de calculer l'effet de la pression électrique qui s'exerce sur les deux faces des bouteilles sphériques.

Opérons, par exemple, avec une distance explosive de 10^{mm}, qui correspond à un potentiel 165; on trouve que la pression électrique est, pour la bouteille A, de $4^{gr},321$ par millimètre carré, c'est-à-dire de $432^{gr},1$ par centimètre carré, ou bien, en atmosphères, de $0^{atm},418$. Si l'on applique cette pression aux deux faces de la bouteille A, dont le rayon est $43^{mm},15$, l'épaisseur $0^{mm},5$, le pouvoir diélectrique 1,76, le coefficient de compressibilité $\frac{11}{10\,000\,000}$, on trouve que sa capacité intérieure s'accroît des $\frac{290}{1000}$ d'un millimètre cube ou de 1^{div} environ, c'est-à-dire de $\frac{1}{6}$ de la valeur totale; c'est précisément cette augmentation de volume qui compense rigoureusement l'erreur que l'on commet en mesurant les différences de potentiel par les distances explosives. Mais, si l'effet de la pression électrique n'est pas négligeable, on voit aussi qu'il ne suffit nullement à expliquer le phénomène et que l'on se trouve en présence d'une propriété nouvelle de l'électricité.

Téléphone-avertisseur; par M. le capitaine Perrodon.

Le nouvel avertisseur téléphonique que j'ai l'honneur de présenter à la Société est fondé sur le principe suivant :

Un téléphone quelconque rend un son continu, élevé et intense quand le courant d'une pile traverse sa bobine et passe en outre entre l'armature et un contact fixe. — Si d'autres téléphones

sont interposés dans le même courant, ces instruments vibrent tous à l'unisson du premier avec la même intensité.

On savait déjà que des interruptions de courant produites d'une manière quelconque font vibrer les téléphones en ligne assez fortement pour les faire résonner à *distance*. L'expérience précitée prouve en outre que tout téléphone peut suffire à fournir l'appel, *comme transmetteur*, en interrompant de lui-même le courant d'une manière automatique, sans qu'il soit nécessaire de recourir à aucun organe séparé de l'instrument.

J'étais convaincu de la nécessité d'adjoindre au téléphone un système d'appel, et je pensais d'autre part que, au point de vue des applications militaires, ce système d'appel ne serait pratique qu'autant qu'il laisserait au téléphone ces deux propriétés précieuses : son transport si facile, son emploi à la portée de tout le monde.

Il est évident qu'un système dans lequel l'appel est produit et reçu par le téléphone lui-même réalise, en principe, le maximum de simplicité.

Cependant, quelques auteurs rejettent *a priori* tout système d'appel nécessitant l'emploi d'une pile.

En fait, au point de vue militaire, les avertisseurs sans piles seraient à préférer. Mais les inconvénients de la pile ne doivent pas être exagérés. Si la pile est embarrassante dans les transports, que dire des bobines de câble qu'il faudra emporter? D'ailleurs, la pile compense ces inconvénients par le contrôle de la ligne qu'elle fournit, le téléphone servant lui-même de galvanomètre pour cette vérification.

En outre, on sait que les avertisseurs sans piles ont le grave inconvénient de ne transmettre qu'environ le $\frac{2}{100}$ du son produit au départ et à de faibles distances. Dans l'armée, le poste ne pourrait fournir l'appel sans trahir sa présence, et se ferait entendre, par une nuit calme, de 1 à 2^{km} de distance. Ce bruit serait en outre très-gênant, comme les sonneries, dans un établissement industriel.

D'ailleurs, une pile peut desservir deux ou plusieurs postes, comme cela pourrait se faire, par exemple, sur les chemins de fer à une voie, ou les gardes-barrières seraient munis de téléphones-avertisseurs, remplaçant avantageusement les cloches ordinaires et

fonctionnant tous par le courant d'une pile unique et fixe installée à la station voisine.

Comme on va le voir, cette condition est réalisée par le téléphone-avertisseur.

Description du téléphone-avertisseur. — Le téléphone, à l'état normal, est disposé pour la réception ; le courant de la pile traverse sa bobine, mais sans faire vibrer l'armature, dont la position d'équilibre est modifiée d'une manière permanente.

Pour avertir, il faut amener au contact de la membrane une pièce mobile qui sert en même temps de commutateur, et maintenir cette pièce dans une position fixe pendant tout le temps de l'appel.

Ce réglage, à la fois mobile et stable, était très-difficile à obtenir. Dans les dispositifs combinés, la production de l'appel exigeait toujours de l'adresse et un certain apprentissage.

Cette difficulté a été complétement résolue par M. Trouvé, qui a réalisé le téléphone-avertisseur en lui adaptant son interrupteur, bien connu, pour appareils électro-médicaux.

La figure ci-contre représente l'instrument, qui n'est autre qu'un téléphone ordinaire transformé.

Une aiguille métallique *a*, extérieure à la monture et mobile entre deux butoirs, commande un petit arbre de rotation E, qui porte deux cames F et G, à angle droit l'une sur l'autre. Cet arbre est à la fois un organe mécanique et un commutateur.

Dans la position représentée par le dessin, la came F soulève l'extrémité K du levier KL, fixé en L par une vis, et l'amène au contact d'un petit grain de platine rivé à la plaque.

Le courant, amené par l'un des conducteurs, parcourt la bobine, arrive à un contact I, suit le bord de la plaque rendue conductrice sur tout son pourtour, passe du grain de platine au levier K, à la came F, et par celle-ci à l'arbre E, qui communique toujours avec le fil de sortie.

C'est la position d'appel.

Le courant passant dans un sens tel que l'aimantation du barreau soit diminuée, ce que l'on obtient en attachant au pôle positif de la pile le conducteur qui porte une perle rouge, l'armature se redresse dès que le courant se ferme et le contact de platine fuit le levier K. Aussitôt, le circuit est ouvert, l'aimant reprend son énergie, la lame est attirée, le contact se rétablit et le circuit se

ferme; et ainsi de suite indéfiniment. La membrane vibre très-rapidement et rend un son aigu. Ces interruptions se reproduisant instantanément sur toute la ligne, les téléphones de tous les postes vibrent à l'unisson.

Fig. 1.



L'aiguille est alors vis-à-vis de la lettre A (*appel*). En la rabattant, à droite ou à gauche, vis-à-vis de l'une des lettres T (*téléphone*), ce qui la couche sur la surface extérieure de l'instrument, on fait tourner l'arbre E; la came F laisse d'abord baisser le levier KL, qui abandonne la plaque, puis perd elle-même tout contact avec ce levier.

En même temps, la came G vient presser sur le ressort H, qui

communique avec le bord de la plaque. Le courant, interrompu un court instant pendant le mouvement de l'aiguille, est de nouveau rétabli.

Il y a sous la plaque trois contacts en cuivre rouge, comme I. L'un d'eux est percé d'un trou et reçoit une goupille fixée à la plaque, et qui sert de repère pour mettre en regard le grain de platine et le levier KL.

Emploi de l'appareil. — A tous les postes, les téléphones sont mis en ligne de manière que le courant entre par le fil rouge.

Le poste qui veut avertir (*et tous le peuvent également bien, quelle que soit leur distance à la pile*) tourne lentement son aiguille de T vers A, en arrêtant de suite la rotation dès que l'appareil chante. S'il y a plus de deux postes, tous écoutent sans répéter l'appel, parce que cela entraînerait des longueurs. Le poste qui a appelé ramène son aiguille sur T et indique à la voix son numéro d'ordre et le poste interpellé.

Tous les postes non intéressés déposent leurs téléphones. Ces règles, d'ailleurs, peuvent se modifier au gré de chacun. On pourrait encore sonner un nombre de fois convenu pour appeler tel poste. Ce sont des détails sur lesquels nous ne nous arrêterons pas plus longtemps.

En résumé, voici les principaux avantages du système :

1° Extrême simplicité, dépense insignifiante et conservation complète de toutes les qualités du téléphone. Cet avertisseur, qui peut leur être appliqué à tous, permet de les placer immédiatement dans les meilleures conditions de réglage.

2° Avertissement très-bruyant avec 2 éléments pour des résistances de 100 à 110^{km}, les bobines de deux téléphones entrant déjà pour 90 à 95^{km} dans cette résistance.

La portée et le bruit croissent avec le nombre des éléments employés, ce dernier au point de devenir insupportable.

3° Contrairement aux autres systèmes d'avertisseurs, le bruit à l'arrivée est de même intensité qu'au départ. Il sert encore de moyen de contrôle, puisque le système ne peut fonctionner que si la ligne est intacte.

4° On peut placer un certain nombre d'instruments sur la même ligne, qui rendront tous simultanément, avec la plus grande fidélité, la note de celui qui commandera l'appel, malgré le plus grand

désaccord possible dans la tension des membranes, ce qui suffira au besoin pour distinguer les postes entre eux, comme cela se fait, avec les sonnettes d'appel, par la hauteur du son ou par la différence des timbres.

Ces avantages le recommandent tout particulièrement à l'armée, à laquelle il pourra rendre des services.

Il pourrait également remplacer, sur les lignes ferrées simples, les signaux à cloches, qui, avec une installation plus coûteuse, ne peuvent pas rendre des services aussi complets.

SÉANCE DU 7 MARS 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Buisson, ingénieur civil, à Évreux.
- Gaumet (Francisque), lieutenant d'infanterie, à Paris.
- Rognetta (F.-B.), ancien capitaine d'artillerie, représentant des usines du Creusot, à Turin (Italie).
- Sainte-Claire Deville (Henri), ingénieur des manufactures de l'État, à Paris.
- Sainte-Claire Deville (Émile), ingénieur à la Compagnie du gaz, à Paris.
- Siccardi (le comte Émile), ingénieur, à Turin.

M. Bouty expose, au nom de M. Blondlot, ses recherches sur la non-existence de la dilatation galvanique.

M. Bertin présente, au nom de M. Duboscq, une lanterne de projection modifiée, de manière à donner des images redressées des objets : elle permet aussi d'incliner à volonté les images ou de les présenter renversées. Ce résultat est atteint par l'adjonction à la lanterne ordinaire d'un double prisme rectangle dont la face hypothénuse, commune aux deux prismes, fonctionne comme miroir et peut être placée dans tous les azimuts.

M. Bertin décrit et montre en projection le phénomène connu des houppes présentées par certains cristaux dichroïques quand on les place dans la lumière naturelle ou polarisée.

M. Ch. Cros présente des épreuves photographiques de spectres, obtenues par MM. Desains et Cros, à la lumière Drummond, dans le laboratoire de la Sorbonne.

De la non-existence de la dilatation galvanique;
par M. Blondlot.

Un conducteur traversé par un courant électrique s'échauffe, et en conséquence subit un allongement. En dehors de cet effet prévu, existe-t-il une dilatation produite *directement* par le courant, en tant qu'action mécanique de celui-ci? La solution expérimentale de cette question présente de très-grandes difficultés, à cause de la coexistence de la dilatation thermique et de l'effet cherché, s'il existe.

M. Edlund, en 1866 (1), et M. Streintz, en 1873 (2), ont cherché à résoudre le problème en évaluant par des moyens détournés la température et déduisant de la dilatation totale observée l'effet thermique calculé à l'avance. M. Edlund mesurait la température du fil en expérience par la variation de sa résistance galvanique. M. Streintz faisait passer un courant d'intensité croissante jusqu'au moment de la fusion d'une couche de paraffine enduisant le conducteur; il admettait qu'à ce moment la température du fil était exactement celle de la fusion de la paraffine (55°,9).

Les deux expérimentateurs concluent à l'existence de l'allongement galvanique.

M. G. Wiedemann, en rendant compte de ces expériences dans son Traité du galvanisme (3), les critique sur plusieurs

---

(1) Edlund, *Poggendorff Ann.*, Bd. CXXIX, S. 15; 1866*. *Archives*, nouvelle série, t. XXVII, p. 269; 1866*. — Edlund, *Pogg. Ann.*, Bd. CXXXI, S. 337; 1867*.

(2) Streintz, *Wiener Berichte*, Bd. LXVII, [2]; april 1873*. *Pogg. Ann.*, Bd. CL, S. 368; 1873*.

(3) Wiedemann, *Galvanismus*, I, S. 961; *Nachträge*, S. 704.

points, en montre l'insuffisance, et sa conclusion est que la question ne peut être regardée comme résolue ([1]).

En présence de ces divergences, j'ai songé à une méthode d'expérimentation fondée sur un principe totalement différent, et où les causes d'erreur inhérentes aux méthodes précédentes ne se présentent pas.

Supposons un mince ruban métallique, intercalé dans le circuit d'une pile par l'intermédiaire de masses conductrices considérables, soudées à ses extrémités; la distribution électrique sera la plus simple qu'on puisse concevoir: tous les points seront traversés par des flux électriques égaux et parallèles; les surfaces d'égal potentiel seront les sections droites du ruban, et les lignes de courant des droites parallèles à la longueur. Il y a donc lieu, par rapport aux phénomènes électriques, de distinguer *deux directions,* la direction transversale et la direction longitudinale. Les phénomènes calorifiques, au contraire, *ne différeront aucunement selon que l'on considérera l'une ou l'autre direction*. De là le moyen de séparer les deux ordres de phénomènes.

Il est clair, en effet, que, tandis que la dilatation calorifique portera également sur la longueur et la largeur du ruban, en le laissant géométriquement semblable à lui-même, la dilatation galvanique, si elle a lieu, portera inégalement sur les deux dimensions et déformera le ruban. Par conséquent, toute déformation de la bande métallique ou des figures tracées sur sa surface doit être attribuée à un phénomène purement électrique, de même que l'absence d'une déformation implique la non-existence d'une action mécanique directe du courant. Par exemple, une droite n'éprouvera de la part de l'action calorifique aucun changement de direction, tandis que l'action galvanique diminuerait l'angle aigu compris entre cette droite et le bord du ruban.

Imaginons maintenant deux plis dont les arêtes AB et BC (*fig.* 1) forment un angle sur la surface du ruban; cet angle augmentera nécessairement si l'électricité produit un allongement (un calcul

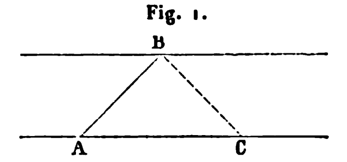
---

([1]) Quand j'ai entrepris mes expériences, j'ignorais que M. Exner, dans un travail récent (*Ann. de Pogg.*, CLVIII, et nouvelle série, t. II, p. 100) est arrivé à montrer que la méthode de M. Edlund est insuffisante pour prouver l'existence de la dilatation galvanique, les erreurs d'expérience étant de même ordre de grandeur que les quantités à mesurer.

des plus simples montre que cet effet sera maximum si l'angle du pli et du bord du ruban est de 45°).

Le phénomène est facilement multiplié en formant une succession de plis à 45°, alternativement vers la face supérieure du ruban

Fig. 1.



et vers la face inférieure, de façon à donner lieu à une sorte d'hélice quadrangulaire où les accroissements des angles s'ajoutent.

J'ai construit avec du laiton laminé recuit une telle hélice renfermant deux cents sommets d'angles. La partie supérieure (*fig.* 2)

Fig. 2.



était invariablement fixée; la partie inférieure, au contraire, était reliée au circuit de la pile par un godet contenant du mercure, de façon à pouvoir tourner; un miroir M permettait d'observer la rotation, d'après la méthode de Gauss-Poggendorff, au moyen d'une lunette et d'une règle divisée placées à 1^{m} de l'hélice. La pile, composée de 8 éléments de Bunsen, produisait un courant ayant dans l'hélice une densité égale à 37 en unités absolues électromagnétiques. L'observation la plus attentive ne nous a permis d'observer *aucune déviation,* même en portant à 10 le nombre des éléments. Comme on pouvait apprécier dans la lunette $\frac{2}{10}$ de millimètre sur la règle, il en résulte que, eu égard à la multiplica-

tion de notre appareil, une dilatation comportant par mètre seulement $0^m,00000025$ eût été sensible. Par conséquent, dans les limites d'extrême approximation que nous venons de définir, on doit conclure que *le passage d'un courant dans un conducteur métallique ne produit aucun effet mécanique d'allongement ou de raccourcissement*.

D'autres rubans de laiton, un autre en maillechort, ont donné le même résultat. Il est nécessaire que le métal de l'hélice soit soigneusement recuit, car le laminage constitue la matière dans un état moléculaire analogue à celui des cristaux à un axe optique, et alors on observe des rotations *lentes,* indiquant une inégalité du coefficient de dilatation calorifique dans différentes directions. Il faut aussi que les masses métalliques qui terminent le ruban soient régulièrement soudées, afin que la distribution du courant soit bien celle que nous avons indiquée; dans le cas contraire, on obtient également des rotations lentes. Ces remarques démontrent la sensibilité de la méthode et la rigueur du résultat, attendu que *toute* rotation *cesse* quand les précautions indiquées ont été observées.

Sur les houppes des cristaux polychroïques; par M. A. Bertin (1).

Quand on regarde le ciel blanc et par conséquent non polarisant à travers une lame d'andalousite taillée perpendiculairement à l'un des axes optiques, on observe de chaque côté de l'axe deux secteurs sombres sur un fond brillant: c'est ce qu'on appelle les *houppes* (*fig.* 1).

Quoique ce phénomène soit connu depuis longtemps, nos Traités de Physique n'en parlent pas, et c'est à peine s'il est signalé dans quelques Traités de Minéralogie. Il a été découvert par Brewster, en 1818, dans la cordiérite, l'épidote, l'axinite, le mica et la topaze (2).

---

(1) Un Mémoire de M. Bertin sur le même sujet a paru dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XV, p. 396.

(2) *Mémoire sur le dichroïsme des cristaux* (*Philosophical Transactions*, p. 11 à 29; 1819). Ce Mémoire est traduit dans le *Journal de Physique* de mars 1820, t. XC, p. 177 à 189.

Les houppes de la cordiérite, signalées les premières, sont faibles. Celles de l'épidote sont au contraire très-apparentes et colorées sur les bords ; on les voit même dans les cristaux naturels, mais il faut les chercher, tandis qu'elles apparaissent de suite dans les lames perpendiculaires à l'un des axes. Celles de l'axinite sont encore plus colorées. Le mica se clivant perpendiculairement à la ligne moyenne, il faut chercher ses houppes obliquement dans la direction des axes; on les trouve alors par paires, et, comme on peut aussi observer les lemniscates au microscope polarisant, on constate que les houppes sont perpendiculaires au plan des axes : c'est ce qui a lieu dans tous les cas. Brewster a figuré des houppes très-apparentes dans la topaze bleue; celles que j'ai pu voir dans la topaze jaune sont à peine sensibles.

Fig. 1.



Les plus belles houppes sont celles de l'andalousite, qui nous ont servi de type pour la *fig.* 1. Elles ont été découvertes par Haidinger en 1844 (1).

Celles du diopside ont été signalées par Biot.

Enfin, en 1854, de Senarmont a produit des houppes remarquables dans l'azotate de strontiane, en lui donnant un polychroïsme artificiel par une coloration au bois de Campêche (2) : c'est ce que j'appelle le *sel de Senarmont*. Malheureusement ce sel est très-efflorescent et toutes les lames préparées par de Senarmont sont perdues. Celles que je possède proviennent d'une préparation faite à l'École Normale par M. Bichat. Les unes sont taillées perpendiculairement à l'axe et donnent une belle houppe noire sur un fond pourpre; les autres sont perpendiculaires à la ligne moyenne et

(1) *Répertoire d'Optique* de l'abbé Moigno, t. IV, p. 1587.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XLI, p. 330; 1854.

donnent, comme le mica, deux houppes perpendiculaires au plan des axes. De Senarmont parle aussi, dans ce Mémoire, des houppes de l'acétate de cuivre : elles sont faibles.

Tout récemment, M. Richard a retrouvé les houppes dans le clinochlore et M. Bertrand a signalé un phénomène analogue dans le platinocyanure d'yttrium.

Je réunis dans le Tableau suivant tous les cristaux dans lesquels les houppes ont été signalées et dans lesquels je les ai observées.

Noms des cristaux.	Signe.	Système cristallin.	Angle des axes intérieur.	Angle des axes extérieur.
1. Cordiérite.............	—	Orthorhombique.	39°,5	63°
2. Épidote...............	+	Clinorhombique..	88	»
3. Mica..................	—	Orthorhombique.	»	70
4. Axinite................	—	Anorthique......	74	»
5. Topaze................	+	Orthorhombique.	65	120
6. Diopside..............	+	Clinorhombique..	59	»
7. Andalousite............	+	Orthorhombique.	87,5	»
8. Sel de Senarmont.......	—	Clinorhombique..	»	31
9. Acétate de cuivre.......	+	Clinorhombique..	85	»
10. Clinochlore............	+	Clinorhombique..	»	10 à 86
11. Platinocyanure d'yttrium.	+	Orthorhombique.	»	24

On voit par ce Tableau que tous les cristaux qui donnent des houppes appartiennent aux trois systèmes cristallins doués de deux axes optiques. On peut même remarquer que ces axes y sont en général très-écartés et qu'ils sont presque perpendiculaires dans les deux espèces qui donnent les plus belles houppes, l'andalousite et l'épidote. Tous ces cristaux sont polychroïques ; les houppes seraient même, suivant de Senarmont, caractéristiques du polychroïsme. Mais il ne faut pas pousser les choses à l'extrême : il y a beaucoup de cristaux polychroïques, et nous n'en avons trouvé qu'une dizaine donnant des houppes. Tout ce que nous pouvons dire de plus général, c'est que :

1° Les houppes ne s'observent que dans les cristaux biaxes polychroïques ;

2° Elles sont toujours perpendiculaires au plan des axes et centrées sur le point où l'axe optique perce le cristal.

Si, au lieu de regarder nos lames sur un ciel blanc, nous les observons sur un ciel bleu, qui réfléchit de la lumière partiellement polarisée, le phénomène changera d'aspect; les houppes se couvriront d'anneaux traversés par une ligne neutre blanche ou noire

et qui se déplacera avec le cristal. Il importe donc d'étudier les houppes dans la lumière polarisée.

Combinons, par exemple, nos lames avec une tourmaline dont l'axe sera parallèle ou perpendiculaire aux houppes. Si nous avons affaire à une andalousite, par exemple, dont nous avons placé la ligne des houppes horizontale, la tourmaline parallèle aux houppes nous montrera la *fig.* 2 et la tourmaline perpendiculaire aux houppes nous fera voir la *fig.* 3.

Fig. 2.

Fig. 3.



Nous aurons les mêmes apparences sans tourmaline si, tenant la ligne des houppes horizontale, nous recevons sur l'andalousite la lumière réfléchie par une glace noire horizontale ou par une vitre verticale.

Ce sera encore la même chose si nous regardons à travers la même lame, dont la ligne des houppes sera toujours horizontale, la lumière sortant d'un prisme biréfringent dont la section principale serait verticale. Quand les houppes apparaîtront dans l'image ordinaire, nous aurons la *fig.* 2, et, si nous les amenons ensuite dans l'image extraordinaire, nous verrons la *fig.* 3.

Nous conclurons de toutes ces observations concordantes que les anneaux de la *fig.* 2 apparaissent dans la lumière polarisée quand ses vibrations sont parallèles à la ligne des houppes, et qu'ils sont remplacés par les anneaux de la *fig.* 3 quand ces mêmes vibrations sont perpendiculaires aux houppes.

Si nous remplaçons maintenant l'andalousite par l'épidote, les phénomènes seront précisément les inverses des précédents, et ce qu'il y a de singulier, c'est que tous les autres cristaux se comportent comme l'épidote.

En résumé, si nous observons les houppes dans un champ de lumière polarisée, nous verrons :

	La vibration incidente étant	
	parallèle aux houppes.	perpendiculaire aux houppes.
Avec l'andalousite........................	la *fig.* 2	la *fig.* 3
Avec l'épidote et les autres cristaux.......	la *fig.* 3	la *fig.* 2

Enfin, si la lumière est polarisée des deux côtés ou si nous observons nos lames dans une pince à tourmalines, en tenant toujours la ligne des houppes horizontale, nous apercevrons dans l'andalousite les franges de la *fig.* 4 si les axes des tourmalines sont parallèles aux houppes, et une figure analogue à la *fig.* 5 s'ils sont

Fig. 4.

Fig. 5.

perpendiculaires. Nous appellerons *fig.* 5 B celle que nous verrons dans ce dernier cas, et qui ne diffère de la *fig.* 5 que parce que la ligne neutre, qui est sombre dans celle-ci, est claire dans la figure observée. Notre *fig.* 4 paraît n'être que la reproduction de la *fig.* 2; mais, en réalité, les anneaux sont plus beaux, plus nombreux et plus marqués lorsque la pince est complète que lorsqu'on a enlevé une tourmaline. Notons encore que dans la *fig.* 4 les anneaux paraissent limités à l'espace occupé par les houppes, tandis que ceux de la *fig.* 5 B occupent tout le champ.

Si nous remplaçons l'andalousite par l'épidote, nous aurons les phénomènes inverses, c'est-à-dire la *fig.* 4, quand les axes des tourmalines parallèles seront perpendiculaires à la ligne des houppes, et la *fig.* 5 B quand ils lui seront perpendiculaires. Tous les cristaux du type épidote donneront les mêmes résultats; mais il est bien entendu que, pour que les franges soient belles, il faut que les lames ne soient ni trop colorées ni trop épaisses.

Enfin, si les tourmalines sont croisées et la ligne des houppes

perpendiculaire à l'axe de l'une d'elles, on observera la *fig.* 5 exactement, c'est-à-dire des anneaux traversés par une ligne noire, qui pour tous les cristaux est perpendiculaire à la ligne des houppes.

En résumé, nous voyons que, en observant une lame donnant des houppes successivement dans la lumière naturelle, dans la lumière polarisée d'un côté et dans la lumière polarisée des deux côtés, le phénomène qu'elle nous présentera se modifiera progressivement de la *fig.* 1 d'abord aux *fig.* 2 et 3, puis à la fin aux *fig.* 4 et 5. Mais celles-ci sont bien connues : ce sont les franges des biaxes perpendiculaires à l'un des axes, comme sont les lames de clivage du sucre candi.

La théorie de ces franges est aussi connue. Si on la restreint au cas où l'angle des axes est très-grand, comme dans l'andalousite et l'épidote, que nous visons spécialement dans cette étude, cette théorie se simplifie et conduit à la formule

$$I = \cos^2\theta + \sin(\alpha + \varphi)\sin[2\theta - (\alpha + \varphi)]\sin^2\pi\frac{\lambda}{\delta},$$

dans laquelle I est l'intensité de la lumière qui a traversé la pince à tourmalines, θ l'angle des axes des tourmalines, α l'azimut du plan des axes de la lame ou l'angle qu'il fait avec l'axe de la première tourmaline, et φ l'azimut variable du plan de réfraction, compté à partir de la même origine; δ est le retard que la lame imprime aux deux rayons qui la traversent. J'ai démontré, dans mon Mémoire sur la surface isochromatique [1], que les franges étaient ici des anneaux équidistants, dont le rayon est proportionnel à δ. Ces anneaux sont traversés par des lignes neutres que nous allons trouver en discutant l'équation.

1° *Tourmalines croisées.* — Si $\theta = 90°$, on a

$$I = \sin^2(\alpha + \varphi)\sin^2\pi\frac{\delta}{\lambda}.$$

La ligne neutre est donnée par $\varphi = -\alpha$ et son intensité est nulle. Pour $\alpha = 0$, $\varphi = 0$; la ligne neutre est donc suivant l'axe de la première tourmaline, *fig.* 5. Si l'on fait tourner la lame sur son axe, la ligne neutre tourne en sens contraire du plan des axes et se con-

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXIII, p. 96.

fond de nouveau avec lui quand il coïncide avec l'axe de la deuxième tourmaline, ou de la tourmaline oculaire.

2° *Tourmalines parallèles.* — Si $\theta = 0$, on a

$$I = 1 - \sin^2(\alpha + \varphi) \sin^2 \pi \frac{\delta}{\lambda}.$$

La ligne neutre correspond encore à $\varphi = -\alpha$; mais cette fois elle est brillante, car son intensité est 1, c'est-à-dire égale à celle de la lumière incidente. Cette ligne brillante tourne donc en sens contraire du plan des axes et se confond avec lui dans deux cas seulement : pour $\alpha = 90°$, elle est alors perpendiculaire aux tourmalines (*fig.* 4) ; et, pour $\alpha = 0$, elle est alors parallèle aux tourmalines ; ce sont les franges que nous avons désignées sous le nom de *fig.* 5 B.

Si dans la direction $\varphi = -\alpha$ l'intensité est zéro ou 1, il en est encore à peu près de même dans une direction peu écartée. Par exemple, à 6° de cette ligne, $\sin^2 6°$ étant égal à $\frac{1}{100}$, la variation d'intensité est insensible, c'est-à-dire que la ligne neutre s'étale à partir du centre et forme réellement deux secteurs de 12° environ.

Telle est la théorie des anneaux représentés dans les *fig.* 4 et 5 : ceux des *fig.* 2 et 3 s'en déduiront si nous trouvons dans les cristaux dichroïques ce qu'il faut pour remplacer la tourmaline absente. Ces anneaux sont déjà plus effacés que les premiers, et, si l'on enlève encore la seconde tourmaline, on retrouve des houppes qui peuvent passer pour des anneaux encore plus effacés que les seconds. Telle est l'idée que W. Herschel développe dans son *Optique* (§ 1068). Pour expliquer comment les houppes ne sont que des anneaux effacés, il suppose que le cristal qui donne des houppes est un cristal irrégulier dans lequel les axes des diverses parties ne coïncident pas. Un pareil cristal donnerait des anneaux brouillés, parce que les maxima et les minima se superposeraient en partie, et il en résulterait que la partie qui devrait être occupée par les anneaux serait seulement moins éclairée que le reste du champ. « On peut ajouter, dit-il, à l'appui de cette hypothèse, que, si dans les cristaux à houppes on examine les anneaux polarisés ordinaires, on trouve ces derniers d'une extrême irrégularité, ce qui prouve visiblement la non-coïncidence des axes. »

Pour moi, je n'ai jamais remarqué d'irrégularité dans les anneaux de l'andalousite, par exemple ; je crois qu'il faut chercher ailleurs

l'explication de ses houppes et ne pas oublier que c'est un phénomène qui est toujours accompagné d'un dichroïsme prononcé.

On sait que le dichroïsme consiste dans une absorption inégale des deux faisceaux lumineux dans lesquels se décompose la lumière qui tombe sur une lame cristallisée. Le cas le plus remarquable de ce genre est celui que Biot a découvert dans la tourmaline en 1814 [1]. Ce cristal absorbe rapidement le rayon ordinaire, de façon que, sous une épaisseur en général très-petite, une lame parallèle à l'axe ne laisse plus passer que les vibrations dirigées suivant l'axe. Dans les tourmalines noires l'absorption se fait à peu près également pour toutes les couleurs, de sorte que le rayon ordinaire s'affaiblit sans se colorer. Mais il n'en est pas de même dans la plupart des cristaux dichroïques; cela n'a jamais lieu notamment dans les cristaux polychroïques, qui sont toujours biaxes. Mais il suffit que l'absorption soit inégale dans les deux rayons pour que le faisceau qui a traversé une pareille lame ne soit plus de la lumière naturelle, mais de la lumière partiellement polarisée. Cette polarisation partielle ne diffère de celle de la tourmaline que par l'intensité, et une lame dichroïque peut toujours être assimilée à une tourmaline qui serait trop mince pour éteindre complétement l'un des rayons. Aussi peut-on, dans la pince à tourmalines, remplacer l'une des tourmalines ou toutes les deux par une andalousite ou par une épidote. J'ai une pince semblable, dans laquelle, il est vrai, l'andalousite et l'épidote sont parallèles aux axes; mais il est facile de s'assurer que, si ces lames étaient perpendiculaires à l'un des axes, elles pourraient encore nous servir, c'est-à-dire qu'elles polarisent toujours partiellement la lumière.

Prenons par exemple notre andalousite, qui donne les houppes de la *fig.* 1, et plaçons-la, les houppes horizontales, derrière un prisme biréfringent à section verticale, donnant deux images écartées d'une ouverture. En inclinant un peu la lame autour de la ligne des houppes, celles-ci sortiront du champ et les deux images seront uniformes, mais différentes entre elles par la couleur et l'intensité. L'ordinaire sera la plus brillante et elle sera à peu près blanche; l'extraordinaire sera la plus sombre et elle sera d'un beau rouge. Nous conclurons de là que, des deux vibrations transmises

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, t. XCIV, p. 131; 1815.

par l'andalousite, celle qui est parallèle aux houppes est la plus intense et celle qui leur est perpendiculaire ou qui est parallèle au plan des axes, la plus faible. Ce sera le contraire pour l'épidote et les autres cristaux à houppes, comme l'indique le Tableau suivant :

	Vibration émergente, la vibration incidente étant	
	parallèle aux houppes.	perpendiculaire aux houppes.
Andalousite.........	Image intense, blanche.	Faible, rouge.
Sel de Senarmont...	» faible, rouge.	Intense, blanche.
Épidote	» » brune.	» vert clair.
Axinite............	» » rougeâtre.	» jaune.
Cordiérite..	» » bleue.	» jaune
Diopside	» » vert sale.	» jaune.
Mica	» » rougeâtre.	» jaune.

Ainsi la lumière qui a traversé nos lames est formée par des vibrations très-inégales : les plus intenses sont parallèles aux houppes dans l'andalousite et perpendiculaires aux houppes dans l'épidote et les autres cristaux.

On peut aller plus loin et placer en avant du prisme biréfringent un spectroscope à fente verticale ; on voit alors deux spectres, l'ordinaire, qui renferme toutes les vibrations parallèles aux houppes, et l'extraordinaire, qui renferme toutes les vibrations perpendiculaires aux houppes ou parallèles au plan des axes. On observe alors que :

Avec l'andalousite, le spectre ordinaire est brillant et à peu près complet, tandis que l'extraordinaire est plus faible et incomplet, le rouge y domine, le vert et le jaune y sont très-faibles, le bleu complétement absent.

Avec l'épidote, au contraire, le spectre extraordinaire est le plus intense, mais il n'est plus complet ; le vert y domine, le rouge est faible, les autres couleurs sont absentes ; le spectre ordinaire est extrêmement faible, et le vert notamment y fait complétement défaut.

1° Considérons d'abord l'andalousite perpendiculaire à un axe. Traçons sur la lame la direction des houppes et la direction perpendiculaire, qui représentera le plan des axes, et décomposons la lumière naturelle qui tombe sur la lame suivant ces deux directions. Nous obtiendrons ainsi deux vibrations polarisées à angle droit qui, d'abord égales, se différencieront de plus en plus en traversant le cristal et donneront à la sortie deux faisceaux différents, l'un provenant des vibrations parallèles aux houppes, que nous ap-

pellerons H, et l'autre provenant des vibrations parallèles au plan des axes et que nous appellerons A. Ici H est plus grand que A. La lumière A se compose de rouge, d'un peu de vert et de jaune; prenons-en autant sur H : nous aurons ainsi deux rayons de même couleur polarisés à angle droit. Ces deux rayons reconstitueront de la lumière naturelle 2A qui sera répandue sur tout le champ, et il nous restera un faisceau coloré, polarisé, d'intensité H — A, formé par les vibrations parallèles aux houppes. C'est donc comme si la lame d'andalousite de couleur 2A avait été placée entre deux tourmalines parallèles aux houppes, et exposée à la lumière H — A. C'est le cas des tourmalines parallèles entre elles et perpendiculaires au plan des axes. Or, nous avons vu que dans ce cas les franges sont des anneaux à centre blanc, traversés par une houppe brillante perpendiculaire aux axes des tourmalines et d'intensité H — A. Cette lumière H — A, s'ajoutant à la couleur 2 A du fond, donnera, pour la lumière de la ligne neutre, H + A, c'est-à-dire la couleur naturelle de l'andalousite, qui est un blanc très-peu teinté de jaune et de vert.

De chaque côté de la ligne neutre s'étalent deux secteurs qui devraient être traversés par des anneaux correspondant aux maxima et aux minima; mais ces maxima et ces minima seront, pour ainsi dire, étouffés par la lumière générale 2 A, qui est rouge, et l'on ne verra que deux secteurs rouges. Cependant, en y regardant de près, on verra poindre les traces des deux premiers anneaux, comme l'a très-bien remarqué l'artiste qui a dessiné la *fig.* 1.

Veut-on faire apparaître distinctement ces anneaux, il faut éteindre la lumière A, qui nous gêne. Il suffit pour cela de polariser la lumière à l'entrée avec une tourmaline perpendiculaire au plan des axes ou parallèle aux houppes. On voit alors, en effet, les anneaux représentés *fig.* 2.

Mais, si l'on mettait l'axe de la tourmaline perpendiculaire aux houppes, l'andalousite serait alors dans le même cas que si elle était entre deux tourmalines croisées, la vibration incidente étant uniquement suivant le plan des axes et la vibration émergente principalement suivant les houppes; on aurait alors les anneaux traversés par une bande noire de la *fig.* 3.

Si l'on observe l'andalousite entre deux tourmalines, c'est l'action de celles-ci qui l'emporte, et l'on a alors les franges connues des

biaxes perpendiculaires, la *fig.* 4 avec les tourmalines parallèles et la *fig.* 5 avec les tourmalines croisées.

2° S'agit-il maintenant de l'épidote, il faut se rappeler que cette fois A est plus grand que H. Nous prendrons alors sur A une lumière égale à H, c'est-à-dire du rouge et un peu de bleu, de manière à faire le brun de l'image ordinaire, et nous trouverons sur tout le champ une couleur brune égale à 2 H. La couleur A — H subira seule une transformation de ses vibrations dans le cristal, comme si la lame était placée entre deux tourmalines parallèles entre elles et au plan des axes. Dans ce cas, nous avons encore trouvé des anneaux avec une ligne neutre qui est parallèle au plan des axes, et par conséquent toujours perpendiculaire aux houppes. Elle doit avoir pour couleur A — H, qui s'ajoute à la couleur 2H du fond pour former la couleur A + H, la teinte naturelle du cristal. Quant aux anneaux, ils sont bien mieux, cette fois, étouffés par la couleur brune 2H répandue sur tout le champ, et l'on n'en voit pas trace.

Si l'on veut les faire apparaître, il faut éteindre la lumière H avec une tourmaline parallèle au plan des axes, et l'on obtient la *fig.* 2.

Mais, si on la tournait pour que son axe fût parallèle aux houppes, les deux vibrations d'entrée et de sortie seraient rectangulaires, et l'on aurait les anneaux des tourmalines croisées (*fig.* 3).

Entre deux tourmalines, on obtient naturellement les *fig.* 4 et 5.

En résumé, il faut considérer les lames biaxes perpendiculaires qui donnent des houppes comme placées naturellement dans une mauvaise pince à tourmalines parallèles. La lumière qu'elles transmettent se compose de lumière naturelle 2A ou 2H et de lumière polarisée H — A ou A — H, qui vibre tantôt parallèlement aux houppes et tantôt perpendiculairement. Les houppes sont formées par des segments d'anneaux qui ne sont pas apparents, parce qu'ils sont noyés dans la lumière naturelle.

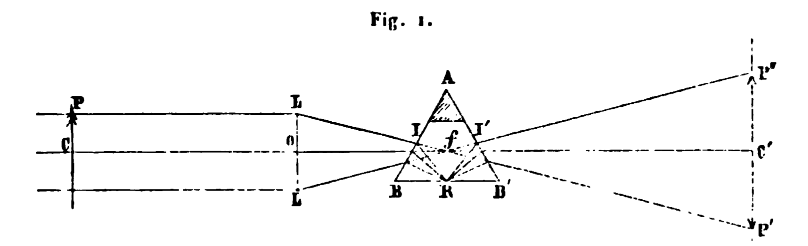
On voit que les houppes ne sont possibles que si la lumière polarisée H — A a une intensité notable ou si le dichroïsme est prononcé. Voilà pourquoi on ne les trouve pas dans tous les cristaux polychroïques, malgré l'aphorisme de Senarmont. L'addition d'une tourmaline au cristal aiderait puissamment dans ces recherches, car elle augmente d'une manière très-sensible l'éclat des houppes trop faibles.

Sur l'appareil redresseur de M. Duboscq; par M. BERTIN.

Les appareils de projection, comme la lanterne magique, donnent toujours des images renversées. Le plus souvent cela n'a pas d'inconvénients, parce qu'on peut renverser l'objet; mais il est des cas où l'objet doit rester droit, et alors on n'a plus d'autre ressource que de redresser l'image. Pour obtenir ce résultat, M. Duboscq a eu l'idée de recevoir les rayons qui iraient former l'image renversée, sur un prisme à réflexion totale, où ils se réfléchissent en donnant une image symétrique de la première et par conséquent redressée par rapport à l'objet.

Considérons une lentille LL (*fig.* 1) tournée vers le Soleil. Elle

Fig. 1.



recevra de cet astre un faisceau cylindrique de lumière qu'elle transformera en un faisceau conique, convergent à son foyer *f*. Ce foyer ne sera pas un point, mais un petit cercle, qui, vu du centre optique du Soleil, sous-tendra un angle d'environ 0°,5, comme le Soleil, ce qui lui assigne un diamètre d'environ $\frac{1}{100}$ de la longueur focale $\left(\text{exactement } d = \frac{f}{107}\right)$. La lumière sortant de la lentille formera donc un tronc de cône dont la grande base sera la lentille et la petite base l'image focale du Soleil ; à partir de cette image, le faisceau deviendra divergent et ira éclairer le tableau. C'est dans ces faisceaux coniques opposés par le sommet qu'il faut chercher les pinceaux lumineux qui nous donneront les images des objets.

Un objet CP, placé en avant de la lentille et supposé transparent, sera éclairé par le Soleil de telle sorte, que chacun de ses points, tels que P, sera le sommet d'un cône de 0°,5. Ce pinceau conique

découpera sur la lentille un cercle de diamètre d' plus grand que le diamètre d de l'image focale du Soleil, si nous supposons que l'objet est à une distance de la lentille plus grande que sa longueur focale. Ce pinceau divergent est transformé par la lentille en un pinceau convergent qui a pour directrice l'image solaire et pour sommet le point P′, image du point P(1). Ces pinceaux étant très-petits, nous ne les figurerons pas, pour ne pas compliquer la figure, et nous ne tracerons que leurs axes PL et LP′.

Voilà ce qui arriverait si on laissait les rayons se propager librement derrière la lentille; mais il n'en sera plus de même si on les reçoit, un peu avant le foyer principal, sur la petite face d'un prisme rectangulaire isoscèle BAB′, dont la face hypoténuse soit parallèle à l'axe optique de la lentille. Le faisceau conique, coupé par cette face, se réfractera en pénétrant dans le prisme, rencontrera la face hypoténuse en R sous un angle plus grand que l'angle limite, s'y réfléchira totalement et, renvoyé vers la seconde face du prisme, s'y réfractera sous le même angle qu'à l'entrée. Il sortira donc retourné d'un demi-tour autour du rayon central OC′, qui seul n'aura pas changé de direction. Le pinceau émané du point P, qui d'abord allait converger au point P′, suivra la direction LIRI′P″ et ira converger au point P″, symétrique du point P′ par rapport à la surface réfléchissante.

Nous avons supposé la face hypoténuse du prisme horizontale et nous avons eu dans ce cas un redressement vertical. Si l'on tourne le prisme autour de l'axe de la lentille, l'image se déplacera

(1) On peut déduire de là l'équation des lentilles, car, si p désigne la distance de la lentille à l'objet et f sa longueur focale, on a d'abord

$$\frac{d'}{d} = \frac{p}{f};$$

on a ensuite, en appelant p' la distance de la lentille à l'image,

$$\frac{d'}{d} = \frac{p'}{p'-f},$$

d'où

$$\frac{p}{f} = \frac{p'}{p'-f}$$

ou bien

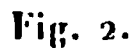
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}.$$

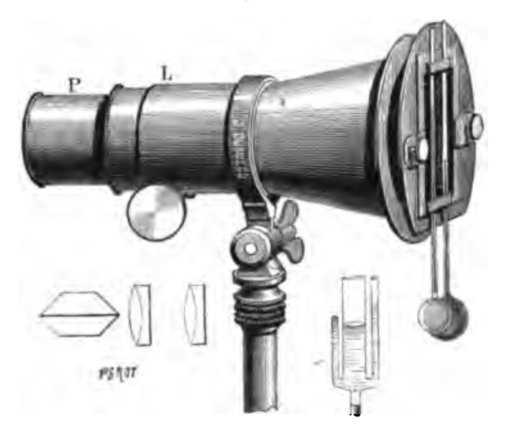
en tournant deux fois plus vite que le prisme. L'image de la flèche CP, par exemple, sera verticale et droite si l'hypoténuse du prisme est horizontale; elle sera verticale et renversée, mais reportée de droite à gauche, si le prisme a sa face hypoténuse verticale; enfin elle sera horizontale si la surface réfléchissante est inclinée à 45°. Il y aura dans ce cas deux positions pour l'image : si l'objet porte une échelle verticale de divisions graduées, l'échelle sera toujours horizontale, mais ses chiffres pourront être droits ou renversés.

Si l'on voulait redresser l'image dans un plan vertical seulement, rien ne serait plus facile; il suffirait de recevoir les rayons sortis de la lentille, un peu avant leur rencontre au foyer, sur un de ces prismes à réflexion totale que l'on a dans tous les cabinets de Physique : on n'aurait pas alors besoin d'un appareil particulier. Mais, si l'on veut produire d'autres retournements, il sera plus avantageux de monter le prisme dans un tube qui fera partie de l'appareil à projection et que l'on pourra faire tourner autour du rayon. C'est précisément ce que M. Duboscq a réalisé dans son redresseur, que représente la *fig.* 2.

L'objet à projeter est ici un thermomètre appliqué contre une échelle divisée sur verre. Pour améliorer les images, la projection se fait à l'aide de deux lentilles achromatiques : la première, la plus voisine de l'objet, a $0^m,36$ de longueur focale, la seconde en a $0^m,26$. Elles sont vissées à l'extrémité d'un tube, et leur distance invariable est de $0^m,06$ à l'extérieur et $0^m,04$ en dedans; le système a alors $0^m,15$ de foyer, comptés à partir de la dernière surface. Le tube porte-lentilles peut s'enfoncer plus ou moins dans un second tube, et celui-ci est mobile au moyen d'un bouton à crémaillère. La distance de la première lentille à l'objet est donc variable, mais elle est toujours plus petite que la longueur focale, de sorte que l'objet donnerait dans cette lentille une image virtuelle; celle-ci donne dans la seconde lentille une image réelle, que l'on reçoit sur un tableau blanc à une distance de 2^m ou 3^m. Derrière la seconde lentille, à une distance variable, mais toujours petite, se trouve placé le prisme réflecteur, qui pourrait être unique comme dans la *fig.* 1, mais qui en réalité est double, c'est-à-dire formé de deux prismes rectangulaires dont les faces hypoténuses sont parallèles entre elles et à l'axe optique du système (*fig.* 2).

Ce prisme double coupe le faisceau émergent près de sa base, et, quand on opère avec le soleil, on en voit sortir deux faisceaux convergents, dont les foyers sont au delà du biprisme et qui vont porter sur le tableau, l'un, l'image de la partie supérieure de l'objet, et l'autre, l'image de la partie inférieure, de sorte que, en arrêtant l'un des faisceaux, on fait disparaître une moitié de l'image. De plus, les deux moitiés de l'image sont séparées par une bande


Fig. 2.



grise parallèle aux faces hypoténuses des deux prismes qui arrêtent la lumière.

Une pareille disposition est inadmissible : aussi n'est-elle pas normale. Elle a en outre l'inconvénient de restreindre le champ, car une lentille ne peut projeter qu'un objet de même grandeur qu'elle-même, et ici l'objet à projeter a $0^{m},08$ de diamètre, tandis que les lentilles n'en ont que $0^{m},045$. Il faut donc agrandir le champ à l'aide d'une nouvelle lentille de grande ouverture, placée devant l'objet, qui servira en même temps de lentille éclairante. Prenons pour cela une de nos lentilles ordinaires, qui ont $0^{m},33$ de foyer et $0^{m},09$ d'ouverture. Placée à $0^{m},02$ en avant de l'objet, elle sera à peu près à $0^{m},165$ de la première lentille de projection, et alors voici ce que deviendra le faisceau lumineux lorsque l'appareil sera exposé au soleil. Il sortira de la lentille éclairante un cône de $0^{m},09$ de diamètre, qui éclairera l'objet sur un cercle de $0^{m},084$ et la première lentille de projection sur un cercle de $0^{m},045$, c'est-à-

dire sur toute sa surface. La première lentille augmentant la convergence de ce cône, la seconde ne recevra plus qu'un cercle de $0^m,024$; son diamètre pourrait donc être réduit de près de la moitié. Enfin cette lentille augmentera encore la convergence des rayons, qui iront se rencontrer derrière elle, à une distance de $0^m,05$ seulement, sur un cercle qui n'a pas $0^m,002$ de diamètre.

Ce raccourcissement du foyer a pour résultat de faire pénétrer seulement la pointe du cône lumineux dans le biprisme; il arrive alors que ce faisceau tombe très-inégalement sur les deux prismes, soit que leur hypoténuse commune soit en dehors de l'axe, tout en lui étant parallèle, soit que l'axe optique du système ne soit pas dirigé exactement vers le centre du Soleil. On a bien encore deux images, mais l'une est beaucoup plus pâle que l'autre; en général elles se raccordent mal, et il faut, pour les régler, faire légèrement basculer l'un des prismes à l'aide d'un bouton de rappel que l'on voit, dans la figure, sur le côté du tube porte-prismes.

Au soleil, les résultats sont bien meilleurs avec un seul prisme réflecteur, soit qu'il soit porté sur un pied isolé, soit qu'il soit monté dans un tube qui se visse sur l'appareil à projection. Dans ce cas, l'angle droit du prisme est abattu sur à peu près le tiers de la hauteur (*fig.* 2) et l'axe optique du système passe par le milieu des côtés restants (*fig.* 1).

C'est avec un seul prisme que M. Duboscq avait d'abord construit l'appareil redresseur; mais, comme il le destinait surtout aux projections à la lampe, il a cru reconnaître qu'il gagnait de la lumière en employant deux prismes. La théorie est toujours la même, mais il est impossible de la préciser aussi bien qu'avec le soleil, parce que les pinceaux lumineux qui forment les images sont moins déliés et les foyers moins précis.

Je me suis étendu un peu longuement sur cet appareil, parce qu'il a été pour moi l'objet d'une étude intéressante sur un cas particulier de l'art difficile des projections.

De l'action des différentes lumières colorées sur une couche de bromure d'argent imprégnée de diverses matières colorantes organiques; par M. Ch. Cros.

Je m'occupe depuis longtemps de chercher des couches photographiques sensibles aux rayons de toutes couleurs, surtout aux rayons orangés, verts et violets. Pour obtenir ces différents rayons, j'ai employé des cuves transparentes pleines de solutions salines colorées, qui tamisent la lumière composée.

La couche est constituée par un collodion contenant 3 pour 100 de bromure de cadmium, et on la plonge dans un bain de 100 parties d'eau et de 20 de nitrate d'argent. On lave soigneusement la couche, et, pour détruire les dernières traces de nitrate d'argent, on la fait tremper dans une solution de bromure de potassium (eau, 100; bromure, 3). On lave encore, de manière à enlever tout ce dernier sel. A cet état, la couche, qui ne contient plus aucun sel soluble, peut être imprégnée des substances organiques les plus délicates, sans que, à l'abri de la lumière, il se passe de réaction perturbatrice.

Les substances colorantes que j'ai essayées sont des teintures alcooliques ou aqueuses. Elles ont été choisies parmi les plus instables, les plus *mauvais teint*.

Les teintures alcooliques sont versées sur la couche préparée comme je viens de dire. On attend quelques instants en faisant courir le liquide sur la plaque, afin de donner le temps à la matière colorante de s'attacher à la couche; puis on lave à l'eau pour enlever l'alcool. Ce résultat est atteint quand la plaque ne *graisse* plus.

Les teintures aqueuses, versées de même, n'exigent pas de lavage subséquent; on met à poser sans autre opération.

Dans les deux cas, les résultats les plus remarquables ont été obtenus avec des substances qui *teignent* l'espèce de feutre produit par le collodion.

Enfin, on développe l'image par toute espèce de procédé applicable au collodion sec, ou bien on immerge la plaque impressionnée dans un bain de nitrate d'argent à 7 pour 100 et l'on développe au fer.

Voici les substances qui ont été essayées :

1° La teinture alcoolique de *chlorophylle* (obtenue des feuilles de lierre, de fusain, de fougère, de chou, etc.);

2° La teinture de fruits de *cassis* dans l'eau-de-vie;

3° La teinture de *mauve* (fleurs) dans l'eau froide, l'eau chaude détruisant la matière colorante;

4° La teinture alcoolique de *carthamine;*

5° La teinture alcoolique de *curcuma;*

6° L'hémoglobine, ou teinture aqueuse de caillots de sang de bœuf.

A travers une cuve contenant une solution orangée de chlorure de cobalt additionné de bichromate de potasse, solution qui arrête les rayons bleus et ne laisse passer que la lumière orangée, on obtient une image avec des plaques soit chlorophyllées, soit teintes au cassis, soit teintes à la mauve, soit enfin teintes au curcuma.

Si le modèle consiste en trois bouteilles contenant des liquides jaune, rouge et bleu, l'épreuve positive ainsi obtenue donnera, pour les liquides jaune et rouge, l'apparence de l'eau pure, pour le liquide bleu, l'apparence d'un liquide noir.

A travers une cuve contenant une dissolution verte (nitrate de nickel à saturation), la carthamine, l'hémoglobine et le curcuma ont donné des images où le liquide rouge (dans le positif) paraissait noir et les liquides jaune et bleu restaient incolores. Cet effet résulte de ce que la dissolution de nickel arrête les rayons rouges.

A travers une cuve pleine d'une solution bleu violet de sulfate de cuivre ammoniacal, dissolution qui arrête les rayons jaunes, le curcuma a été seul essayé, et il a donné de très-belles images positives où le liquide jaune seul paraissait noir, tandis que les liquides rouge et bleu avaient l'apparence incolore.

Toutes ces expériences ont été faites avec des couches photographiques au bromure d'argent pur. Je dois ajouter que j'ai fait, il y a quelques années, des expériences analogues avec l'iodure d'argent, également lavé, et que ce dernier composé s'est comporté d'une manière tout à fait comparable au bromure.

Après avoir pris connaissance des résultats précédents, M. Desains m'a engagé à étudier au point de vue spectroscopique les substances ci-dessus mentionnées.

En opérant alors ensemble, nous avons reconnu que, sur des plaques sensibilisées avec la teinture de mauve ou celle de cassis, le spectre direct de la lampe Drummond est inactif dans tout le vert moyen, tandis que les extrémités rouge et violette sont très-actives. Avec la carthamine, c'est, au contraire, cette partie moyenne qui est le plus active. Avec la chlorophylle, l'action se continue dans toute l'étendue du spectre visible et même un peu au delà; mais elle présente plusieurs maxima et minima nettement appréciables ([1]).

Nouvelle forme d'électroscope; par M. A. Guerout.

(Séance du 21 février 1879.)

Il résulte des recherches de sir W. Thomson que, dans les expériences d'électricité statique, les déperditions d'électricité ont lieu, non point par la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant, mais par l'humidité qui se condense sur les colonnes de verre employées comme supports isolants. Sir W. Thomson a été conduit, par suite, pour rendre ces colonnes parfaitement isolantes, à dessécher par l'acide sulfurique l'air qui les entoure immédiatement, et M. Mascart a imaginé dans ce but un flacon-support d'une forme particulière, très-commode, et qui a été décrit dans le *Bulletin des séances de la Société de Physique* (séance du 3 mai 1878).

C'est ce support isolant que nous avons utilisé pour la construction de notre électroscope à feuilles d'or. Dans cet appareil, la tige centrale du support isolant se prolonge plus que d'ordinaire au-dessus du goulot, et elle est garnie d'une douille de cuivre.

Cette douille porte à sa partie supérieure les plateaux condensateurs et latéralement une petite tige de $0^m,06$ à $0^m,07$ de longueur, servant de support aux feuilles d'or. Celles-ci se trouvent ainsi suspendues sur le côté du flacon. Ce dernier est placé au centre d'un

---

([1]) Touchant l'action de la chlorophylle, *voir* le Mémoire de M. Edm. Becquerel (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXIX, p. 185).

socle carré, et une cage de verre ou de glace percée d'un trou recouvre l'appareil, en laissant sortir seulement les plateaux condensateurs; enfin deux tiges de cuivre à boule, que l'on peut faire mouvoir en dessous du socle, sont placés de chaque côté des feuilles d'or.

Cet appareil présente beaucoup de sensibilité; il garde longtemps la charge, et son fonctionnement est toujours assuré. En outre, comme la cage de verre ne sert plus de support aux feuilles d'or et n'a d'autre but que de les protéger contre les courants d'air, on peut l'enlever facilement pour modifier la disposition de l'électroscope.

On peut, par exemple, enlever une des tiges à boule et avoir ainsi un électroscope à décharge de Gaugain, ou remplacer les deux tiges par des piles sèches pour former un électroscope de Bohnenberger. On aura ainsi plusieurs dispositions d'électroscope dans le même appareil.

SÉANCE DU 21 MARS 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BLAVIER.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Alexis (Ferdinand-Marius), commis principal au bureau télégraphique central, à Marseille.

Grammacini (Jules), receveur du bureau télégraphique, à Marseille.

Krouchkoll, licencié ès sciences, à Paris.

Montefiore, à Paris.

M. Mascart présente une balance construite par M. Deleuil. Elle est à doubles plateaux et son fléau, en fonte de fer brute, a une résistance à la flexion suffisante pour qu'on puisse compter sur une exactitude de $0^{gr},005$, pour 10^{kgr}.

M. Cailletet expose les recherches qu'il poursuit depuis dix ans sur la compressibilité des gaz soumis à de très-hautes pressions.

M. Gariel signale à la Société une application intéressante du microphone : c'est une sonde explorateur construite par MM. Chardin et Prayer, dont les praticiens ont obtenu les meilleurs résultats.

Il décrit aussi un crayon voltaïque, imaginé par M. Bellet.

Recherches sur la compressibilité des gaz ; par M. Louis Cailletet.

Les premières recherches sur la compressibilité des gaz datent du commencement du XVIIIe siècle. Mariotte, dès 1700, dans son *Traité du mouvement des eaux*, démontre la loi qui porte son nom en établissant que *la condensation de l'air se fait selon la portion de poids dont il est chargé.*

Depuis cette époque, un grand nombre de savants ont cherché à s'assurer par l'expérience si cette loi était rigoureuse.

Boyle, en Angleterre, avait déjà cru remarquer que l'air se comprime moins que la théorie ne l'indiquait. Musschenbroeck, Sulzer, Robison, puis Œrsted, Pouillet et Despretz reprirent l'étude de cette question. Arago et Dulong, sur l'invitation de l'Académie, déterminèrent la loi de la contraction de l'air atmosphérique jusqu'à 27^{atm}. Les volumes des gaz étaient mesurés dans un tube gradué en capacités égales, ayant $1^m,70$ de longueur, et les forces élastiques étaient données par les hauteurs d'une colonne de mercure qui leur faisait équilibre. Les erreurs constatées ne s'élevaient pas à $\frac{1}{100}$, et ces différences n'augmentaient pas avec la pression, comme cela devait avoir lieu si elles tenaient à une déviation de la loi de Mariotte. Ils admirent donc que les écarts qu'ils avaient constatés étaient dus à des erreurs d'expérience et conclurent que l'on peut regarder la loi de la compression de l'air comme vérifiée directement jusqu'à 27^{atm}.

Les recherches de Regnault sur la compressibilité des fluides élastiques, qui resteront dans la Science comme un modèle de précision sur lequel devront se baser tous ceux qui étudieront ces

difficiles questions, ne permettent plus de regarder la loi de Mariotte que comme une *loi limite* qui n'est rigoureusement observée que quand les gaz sont infiniment dilatés, et dont ils s'écartent d'autant plus qu'on les observe dans un état de plus grande condensation.

On doit regretter que les belles recherches de Regnault n'aient pas été poussées au delà de 28^{atm}, car il serait extrêmement intéressant de savoir si les écarts s'accentuent avec la pression, et si, sous de hautes pressions, certains gaz continuent à se comprimer plus que ne l'indique la loi de Mariotte, ou si, au contraire, comme pour l'hydrogène, les rapports $\frac{\left(\frac{V_0}{V'}\right)}{\left(\frac{P'}{P_0}\right)}$ restent inférieurs à l'unité.

Malgré toutes les difficultés que présentent de semblables recherches, j'ai essayé, depuis plusieurs années, de déterminer la valeur de la compressibilité des gaz sous des pressions élevées.

Mes premières recherches [1] ont été faites en comprimant une masse constante de gaz renfermée dans une sorte de piézomètre dont le tube, gradué en capacités égales, s'élevait au-dessus du réservoir métallique sur lequel il était fixé. Au moyen d'une pompe, on comprimait de l'eau au-dessus du mercure dans lequel plongeait le réservoir du piézomètre et on le forçait à refouler le gaz dans le tube gradué. S'il était facile d'obtenir ainsi des pressions élevées, leur mesure présentait au contraire de grandes difficultés.

Dans mes premières recherches, je mesurais les pressions au moyen d'une série de manomètres Thomasset accouplés, auxquels j'avais adjoint deux manomètres en verre, sorte de thermomètres dont le réservoir subissait des réductions de volume proportionnelles à la pression développée.

J'ai pu étudier ainsi la compressibilité de l'hydrogène et de l'air; mais le mode de mesure des pressions laissait beaucoup d'incertitude, et les résultats de ces expériences n'ont été publiés qu'avec les réserves nécessaires. J'ai cherché alors s'il ne serait pas possible d'établir un manomètre à air libre, qui seul peut donner des indications précises. J'ai fait disposer sur la pente d'un coteau une

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXX, p. 1131.

série de jalons portant des repères espacés par des hauteurs verticales exactes de 1^m. Un tube en acier de 3^{mm}, rempli de mercure, porte à l'une de ses extrémités un réservoir également rempli de mercure, qu'on peut élever au niveau des repères en gravissant le coteau; la pression exercée à la partie inférieure du tube est alors mesurée par la hauteur verticale de la colonne de mercure. La hauteur dont je disposais ne pouvait guère donner que 30^{atm}, mais j'ai pu mettre à profit, dans ces derniers temps, le puits artésien en foncement à la Butte-aux-Cailles, dont la profondeur dépasse 500^m.

L'appareil que j'ai employé pour les recherches qui font l'objet de cette Note se compose d'un tube-laboratoire en acier (*fig.* 1) (¹) dont la longueur est de $1^m,80$ et le diamètre intérieur 25^{mm}. Un obturateur conique en fer D sert à fermer l'appareil au moyen de l'écrou C. A la base du tube-laboratoire est fixé en E un tube en acier doux T de 250^m de longueur et disposé de telle sorte qu'il peut s'enrouler dans une hélice creusée sur la circonférence d'un gros cylindre en bois de 2^m de diamètre, qui se meut autour d'un axe vertical.

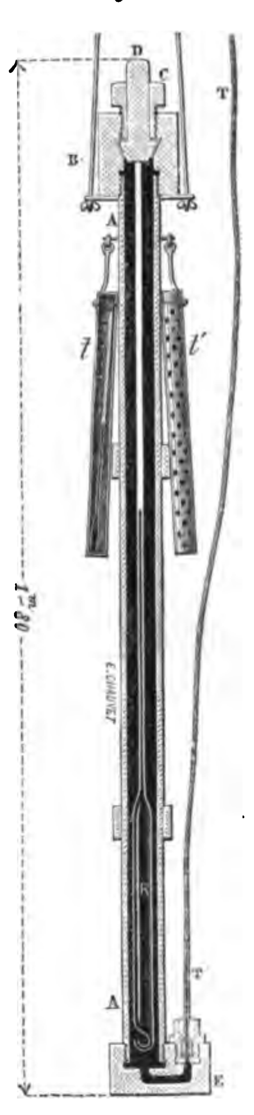
Un aide, en agissant sur des engrenages au moyen d'une manivelle, fait tourner le cylindre, et, suivant le sens du mouvement, le tube descend dans le puits ou s'enroule sur le cylindre. Pour ne pas exercer de trop fortes tractions sur le tube fin, on a suspendu le tube-laboratoire à un fil d'acier de 4^{mm} de diamètre, gradué avec une grande précision. Ce fil s'enroule sur un tambour qui reçoit son mouvement au moyen d'une manivelle actionnée par un second aide. Une poulie à double gorge, établie au niveau du sol et dans l'axe du puits, supporte ce tube et le fil de suspension au moment où ils pénètrent dans le puits. Lorsqu'on veut opérer, on doit commencer par remplir l'appareil de mercure, après avoir aspiré l'air au moyen d'une machine à faire le vide; sans cette précaution, il reste toujours de l'air qui divise la colonne de mercure et altère les résultats. On renferme alors dans le tube-laboratoire le piézomètre qui contient le gaz en expérience. Les aides agissent

---

(¹) Nous devons à l'obligeance de M. G. Tissandier, rédacteur en chef du journal *la Nature*, la communication des figures ci-contre, qu'il a fait graver pour son intéressante publication.

sur les engrenages et font descendre l'appareil dans le puits, à une profondeur que l'on détermine exactement au moyen des


Fig. 1.



divisions que porte le fil de suspension; cette longueur, comptée depuis le niveau du mercure contenu dans le réservoir qui termine

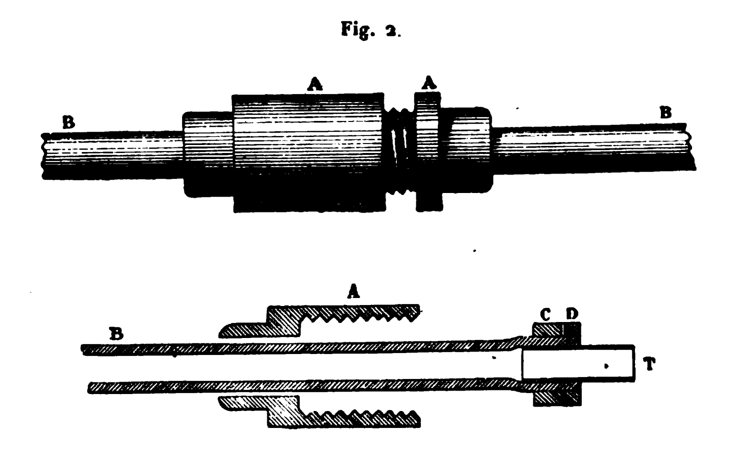
le tube, représentera la pression, estimée en millimètres de mercure, que supporte le gaz dans le piézomètre.

Il est nécessaire d'opérer lentement la descente, afin d'éviter les oscillations du mercure dans le tube calibré. Lorsque l'appareil a pris la température de l'eau, on le remonte à la surface et on note la température et la pression extérieures, ainsi que la température de la couche d'eau atteinte par l'appareil; cette température est donnée par les deux thermomètres à maxima t, t'.

Il serait difficile de connaître la hauteur à laquelle le mercure s'est élevé dans le piézomètre et de mesurer, par conséquent, le volume auquel s'est réduit le gaz, si l'on n'employait un artifice qui permet une mesure précise; il suffit, à cet effet, de dorer légèrement l'intérieur du tube : le mercure, en s'élevant, dissout la couche d'or et laisse une trace absolument nette correspondant au niveau qu'il a atteint.

Les *fig.* 2 et 3 représentent en vraie grandeur la disposition

Fig. 2.



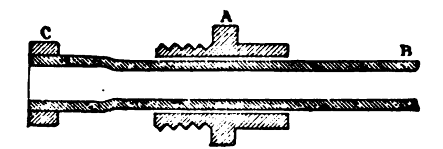
que j'ai adoptée pour relier entre elles les diverses parties de mon tube d'acier. BB est le tube contenant le mercure; des rondelles en fer CC sont soudées aux extrémités du tube et peuvent être serrées l'une contre l'autre au moyen des manchons à vis AA. Grâce à une rondelle de cuir D interposée, le joint est absolument étanche et peut résister à de très-hautes pressions malgré le mouvement et les torsions que subit le tube. Afin d'éviter que le cuir ne vienne obstruer l'orifice du tube, on a placé dans l'ex-

trémité dilatée un petit manchon T, qui empêche absolument l'obstruction.

Voici quelles corrections ont été apportées aux résultats des expériences.

La température de la colonne de mercure contenue dans le tube fin a été divisée en trois parties : 1° la partie située hors du puits, qui subit la température extérieure; 2° la longueur du tube occupant l'espace compris entre l'orifice du puits et le niveau de l'eau; 3° la partie plongée dans l'eau, et subdivisée elle-même en colonnes de 5^m. Par des expériences préliminaires, j'avais étudié la température du puits au moyen de thermomètres à maxima,

Fig. 3.



donnant le vingtième de degré et enfermés dans des enveloppes de verre épais. La température du mercure contenu dans l'ensemble du tube a été ramenée à zéro. On n'a pas tenu compte de la compressibilité du mercure.

Quant à l'allongement du fil de suspension, il a été calculé d'après les formules en usage, puis vérifié directement sur une longueur de fil de 10^m. Afin d'atténuer les erreurs résultant de la réduction qu'aurait subie une masse de gaz constante en supportant des pressions de plus en plus élevées, on a employé successivement trois piézomètres dont les réservoirs présentaient des volumes de plus en plus grands. Ces trois appareils, dont les tubes étaient gradués avec grand soin, avaient été étudiés de manière à rendre leurs indications comparables entre elles.

Au moyen de la formule ci-contre on a calculé les nombres PV qui figurent dans le Tableau :

$$PV = V[L + H + mV - (R + r)],$$

V étant le nombre des divisions restées dorées;

L la longueur du fil déroulé depuis le niveau du mercure dans le réservoir supérieur;

H la pression barométrique;
m la longueur en millimètres d'une division du tube doré;
R la distance du repère supérieur AB au niveau du mercure dans le réservoir supérieur;
r la distance de la demi-division du fil de suspension déroulé, la plus voisine du repère inférieur.

Azote à + 15°,0.

Pressions.	Volumes.	PV.	Température du gaz.
m 39,359	207,93	8184	° +15,0
44,264	184,20	8153	15,1
49,271	162,82	8022	15,1
49,566	161,85	8022	14,9
59,462	132,86	7900	15,0
64,366	123,53	7951	15,0
69,367	115,50	8011	15,0
74,330	108,86	8091	15,1
79,234	103,00	8162	15,1
84,388	97,97	8267	15,2
89,231	93,28	8323	15,2
99,188	86,06	8536	15,4
109,199	77,70	8484	15,6
114,119	76,69	8751	15,7
124,122	71,36	8857	16,0
144,241	62,16	8966	16,3
149,205	59,70	8907	16,5
154,224	58,18	8973	16,6
164,145	54,97	9023	16,8
174,100	52,79	9191	17,0
181,985	51,27	9330	17,2

Les expériences que je viens de rapporter ont été faites avec le concours d'un jeune professeur attaché au laboratoire des Hautes Études, M. Bonnefoy, et de M. Forquignon, ingénieur civil des Mines, qui ont bien voulu m'aider dans ces recherches longues et difficiles.

Sonde microphonique; de MM. Chardin et Prayer.

Le téléphone et le microphone ont été, dès leur invention, proposés pour l'étude des bruits de la circulation et de la respiration : ils ne semblent pas avoir donné les résultats que l'on avait espérés, non qu'ils ne puissent faire entendre ces bruits, mais parce que, au contraire, ils les amplifient tous indistinctement et ne permettent pas facilement d'en étudier spécialement un. Bien que, à cet égard, sans doute le dernier mot n'ait pas été dit, il semble qu'on ait renoncé provisoirement à ces applications; mais, par contre, la Chirurgie a pu utiliser ces appareils avec succès pour reconnaître l'existence de corps durs au milieu des parties molles de l'organisme, des pierres dans la vessie, des projectiles dans les blessures par armes à feu, etc. La sonde microphonique de MM. Chardin et Prayer est destinée à satisfaire à ces indications. Elle consiste en une sonde rigide de forme variable que l'on introduit dans la blessure ou dans la plaie, et dont l'extrémité libre est terminée par une poignée creuse contenant un microphone; celui-ci fait partie d'un circuit contenant une pile et un téléphone. Toutes les fois que la sonde rencontrera un corps dur, la résistance transmise au microphone produira dans le téléphone un bruit distinct, perceptible à l'oreille, dont l'existence est caractéristique.

L'appareil paraît bien compris pratiquement; la sonde est suffisamment légère et bien à la main, la pile est portée en bandoulière par l'opérateur, le circuit est constitué par des fils flexibles qui ne gênent pas le maniement de l'instrument.

Crayon voltaïque de MM. Bellet et H. d'Arroz.

Les inventeurs, s'appuyant sur l'action des étincelles électriques, se sont proposé de trouver un moyen permettant la reproduction directe ou indirecte de l'écriture, du dessin, etc., en un mot, d'arriver à un système d'*autographie,* le mot étant pris dans son véritable sens.

Lorsqu'une étincelle éclate entre deux conducteurs à travers une feuille de papier, celui-ci est perforé. Le déplacement des conducteurs, joint à la multiplicité des étincelles, permettra de découper dans le papier des traits dont l'ensemble représentera les lettres, chiffres, dessins à reproduire; cette découpure pourra évidemment servir de *poncis* et être utilisée suivant les procédés ordinaires du dessin industriel. Dans la pratique, l'application de cette méthode a présenté des difficultés lorsque l'on a cherché à réaliser les conditions théoriques de la manière suivante. La feuille de papier à découper était placée sur une lame métallique communiquant avec une extrémité du fil induit d'une bobine dont l'autre extrémité aboutissait à un conducteur terminé par une pointe et tenue par l'opérateur. En approchant cette pointe du papier, l'étincelle jaillissait et perçait celui-ci; mais, d'une part, cette étincelle donnait une secousse désagréable et nuisible à la netteté du trait, et, d'autre part, cette étincelle était multiple en réalité et la multiplicité des perforations empêchait également d'obtenir autre chose qu'un trait vague et mal défini.

On a pu lever ces difficultés par l'emploi d'un papier spécial obtenu par l'immersion dans une dissolution de sel et par des modifications apportées à la construction de la bobine : la substitution au trembleur ordinaire d'un interrupteur formé par un ressort fixé à ses deux extrémités, et l'établissement d'une dérivation qui, en modifiant l'étincelle, évite les secousses à l'opérateur et supprime les perforations multiples.

Le conducteur employé est un simple crayon dont la mine est en communication avec la bobine d'induction. L'appareil est installé sur un pupitre, à l'intérieur duquel sont placés les accessoires destinés à la reproduction du dessin : encre d'imprimerie, rouleau. La bobine, qui est fixée à la partie supérieure de ce pupitre, est actionnée par une pile au bichromate de potasse, dont le zinc peut se relever à l'aide d'une crémaillère.

Le poncis peut servir directement à la reproduction lorsque le nombre des exemplaires ne doit pas être trop considérable; il peut être employé à faire un report sur pierre pour un tirage lithographique ou à obtenir un cliché pour tirage typographique, etc.

Indépendamment des applications pratiques, cet appareil présente un réel intérêt pour les modifications qui ont été apportées

à la bobine, modifications qui pourront peut-être être utilisées dans d'autres circonstances.

SÉANCE DU 4 AVRIL 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 mars est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Bellot (Jules), manufacturier, à Loches (Indre-et-Loire).

M. Marcel Deprez présente un nouvel appareil magnéto-électrique réversible, qu'il fait fonctionner soit comme moteur, soit comme source d'électricité. Cet appareil se fait remarquer par sa faible masse et par la régularité de son mouvement; il peut être employé pour produire le synchronisme de deux mouvements de rotation ou d'un mouvement de rotation et d'un mouvement vibratoire.

M. Bouty emploie un thermomètre à réservoir argenté comme électrode négative dans la décomposition d'un sel métallique. Le métal, en se déposant, exerce sur le réservoir du thermomètre une action mécanique d'où résulte en général une diminution de volume et une ascension de la colonne mercurielle.

Quand on enlève le dépôt métallique, le thermomètre reprend son indication normale.

La cause de la contraction observée est une diminution de volume éprouvée par le métal qui se dépose. M. Bouty donne une formule qui représente très-exactement le résultat de ses expériences et en déduit pour le coefficient de compressibilité du cuivre un nombre voisin de celui qui a été mesuré par M. Regnault.

Le nickel poreux absorbe de l'hydrogène, comme l'a montré M. Raoult, quand on l'emploie comme électrode négative dans la décomposition de l'eau acidulée; un thermomètre contracté par un dépôt de nickel se rapproche, dans ces conditions, de son indica-

tion normale, pour se contracter de nouveau quand l'hydrogène se dégage.

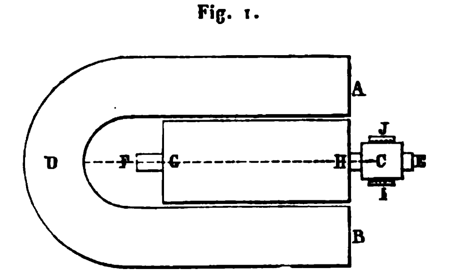
M. Henri Becquerel expose la suite de ses recherches sur le pouvoir rotatoire magnétique des gaz.

M. Gariel décrit sommairement et fait fonctionner la machine parlante de M. Faber.

Machine magnéto-électrique; par M. Marcel Deprez.

Lorsqu'on examine la disposition adoptée dans toutes les machines magnéto-électriques dans lesquelles on emploie des aimants permanents, on est frappé de ce fait que la puissance inductrice des extrémités polaires est seule utilisée, probablement parce que l'on a pensé que la présence des masses magnétiques ou des circuits mobiles placés devant les pôles diminue considérablement l'effet inducteur disponible des autres portions de l'aimant. Des

Fig. 1.



expériences fort simples m'ayant montré l'inexactitude de cette manière de voir, j'ai construit une machine magnéto-électrique dont les organes sont disposés de la manière suivante : ADB est un aimant permanent en fer à cheval, entre les branches duquel se trouve une bobine Siemens FGHE, mobile autour de l'axe FE et munie d'un simple commutateur à renversement de pôles C, contre lequel frottent deux balais I et J qui servent à recueillir et redresser le courant. La longueur de la bobine Siemens est presque égale à celle des parties rectilignes des branches de l'aimant, de façon à utiliser toute la puissance inductrice de ces branches. La

bobine reçoit autour de son axe FE un mouvement de rotation rapide transmis par un pignon ou une poulie de petit diamètre.

Il est facile de voir que cette disposition remplit toutes les conditions exigées pour obtenir le maximum de rendement. On en jugera d'ailleurs par les résultats obtenus. Le premier modèle réalisé avait les dimensions suivantes :

Longueur de l'aimant en fer à cheval, mesurée depuis les faces polaires jusqu'au sommet de la partie courbe	145mm
Écart intérieur des branches	33
Épaisseur du faisceau	25
Poids de l'aimant	1kg,70
Diamètre de la bobine Siemens	32mm
Longueur de l'âme en fer	60
Poids total de l'appareil	2kg,85

La force électromotrice, variable avec la vitesse, équivaut, à la vitesse normale, à un peu plus de 5volts. Cette petite machine permet de produire tous les effets que l'on obtient dans la pratique ordinaire avec 3 éléments de Bunsen. Elle est réversible et constitue un excellent moteur de laboratoire. Elle est munie en outre du régulateur de vitesse que j'ai décrit dans le *Bulletin des séances de la Société de Physique* (séance du 16 août 1878), et qui lui assure une vitesse absolument constante. Voici les résultats que ce moteur m'a donnés avec une pile Bunsen composée d'un nombre d'éléments variant de 1 à 8 :

Nombre d'éléments.	Travail moteur développé en kilogrammètres par seconde (1).
1	0,04
2	0,20
3	0,45
4	0,75
5	1,10
8	1,80

(1) Ces résultats sont représentés avec une exactitude tout à fait suffisante par la formule

$$T = 0,27 N - 0,34,$$

dans laquelle N désigne le nombre d'éléments et T le nombre de kilogrammètres par seconde.

Ce petit moteur développe donc un travail supérieur à 1^{kgm} par seconde avec une pile de 5 bunsens. Je n'ai pu dépasser ce résultat avec une machine Gramme munie d'un puissant aimant permanent, pesant au moins 30^{kg}.

Pouvoir rotatoire magnétique des gaz;
par M. Henri Becquerel (1).

Depuis le jour où Faraday a découvert le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique, les expériences se sont considérablement multipliées, et il paraît à peu près évident aujourd'hui que tous les corps de la nature jouissent à un degré différent de la propriété de dévier dans un sens ou dans l'autre le plan de polarisation de la lumière qui les traverse, lorsqu'ils sont soumis à une action magnétique suffisamment énergique. Cependant l'expérience n'avait pu jusqu'ici être réalisée avec les gaz, dont l'étude présente à ce point de vue une importance particulière; l'incertitude où l'on était sur la grandeur de la rotation à observer n'avait pas permis de diriger les expériences de manière à voir le phénomène.

Les recherches que je poursuis depuis plusieurs années sur cette question m'avaient conduit à des renseignements assez précis sur la grandeur des phénomènes à observer. En m'aidant de ces données, j'ai pu manifester expérimentalement et mesurer la rotation magnétique de divers gaz et des vapeurs à la température et à la pression ordinaires.

Parmi les résultats qui se déduisent de mes recherches antérieures (2), il convient de rappeler ici le suivant :

La rotation magnétique positive (3) R que subit un rayon

---

(1) *Voir* une première Note, *Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 709; mars 1879.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XII, 5e série, 1877, et *Comptes rendus*, t. LXXXV, p. 1227.

(3) On appelle *rotations positives* les rotations de même sens que celles de l'eau, du sulfure de carbone, etc. Les rotations inverses ou négatives donnent lieu à d'autres phénomènes. (*Voir* les Mémoires cités plus haut.)

lumineux de longueur d'onde déterminée, traversant l'unité d'épaisseur d'une substance diamagnétique soumise à une influence magnétique constante, est sensiblement proportionnelle à la fonction $n^2(n^2-1)$ de l'indice de réfraction n correspondant. Le quotient $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est un nombre qui varie peu pour les diverses substances et qui est constant pour les corps d'une même famille chimique, qu'il peut ainsi servir à caractériser.

Cette relation entre la rotation magnétique et l'indice de réfraction a été vérifiée pour un grand nombre de corps solides et liquides. Il était à présumer qu'elle subsisterait encore pour les substances à l'état gazeux. Dès lors, en faisant une hypothèse probable sur la valeur du rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ et connaissant d'autre part l'indice de réfraction n, on pouvait prévoir approximativement la grandeur de la rotation R; l'expérience jusqu'ici semble justifier ces considérations.

L'appareil qui m'a servi pour étudier les propriétés rotatoires magnétiques des gaz se compose essentiellement d'un tube en cuivre de $0^m,12$ de diamètre intérieur et de 3^m de long, qui peut être fermé par des glaces parallèles travaillées avec le plus grand soin. Ce tube est monté horizontalement sur une poutre qui sert également à fixer le système optique. Six grosses bobines de $0^m,50$ de long peuvent se glisser autour du tube. Chacune d'elles contient environ 15^{kg} de fil de cuivre de 3^{mm} de diamètre. L'action magnétique est obtenue en faisant passer dans ces bobines le courant électrique donné par quatre-vingts éléments à acide azotique. Une boussole des sinus, placée en dérivation dans le circuit, mesure à chaque instant l'intensité du courant et permet de ramener les résultats à la même intensité magnétique.

Les rayons lumineux sont donnés par un chalumeau à gaz oxyhydrique; ils sont polarisés par un très-gros polariseur à pénombres, traversent le tube, à chaque extrémité duquel ils rencontrent deux miroirs plans en verre argenté, qui, par des réflexions successives, leur font traverser de nouveau plusieurs fois la longueur du tube, puis ils sont reçus sur un analyseur monté sur un cercle gradué et muni d'une très-forte lunette.

Dans des expériences plus récentes, j'ai fait disposer en avant

de l'analyseur un système de piles de glaces amplificatrices, construites sur les données de M. Fizeau.

Les diverses pièces que nous venons de décrire sont suffisamment éloignées des bobines pour ne subir aucune action magnétique appréciable.

Le réglage du système optique constitue l'un des points les plus délicats de l'expérience. On peut obtenir un grand nombre de réflexions successives; mais, pour avoir des mesures suffisamment nettes, j'ai dû m'arrêter provisoirement à la quatrième image réfléchie, qui correspond à neuf fois la longueur du tube, soit environ 27^m de gaz traversé. Dans ces conditions, la netteté et la sensibilité du polarimètre à pénombres sont telles, que l'on peut estimer une rotation de 1′ (¹).

La lumière blanche donnée par la chaux incandescente du chalumeau à gaz oxyhydrique n'est pas monochromatique, et même avec les faibles rotations obtenues les images peuvent se teinter légèrement. La rotation observée avec la lumière blanche ne correspond pas à celle de la lumière jaune de la raie D, qui a servi de type dans les comparaisons. Des expériences spéciales ont déterminé les rapports des rotations magnétiques obtenues pour le sulfure de carbone liquide avec les rayons jaunes D, avec la lumière blanche du chalumeau à gaz oxyhydrique, et avec la même lumière transmise à travers divers écrans colorés dont nous avons fait usage. Dans certains cas nous avons employé directement, comme source de lumière monochromatique, la vapeur incandescente du chlorure de sodium placé dans la flamme du chalumeau à gaz oxyhydrique.

La nécessité de fermer le tube par des glaces introduit une correction, due à l'action qu'exercent sur la lumière polarisée ces glaces soumises à une faible action magnétique, mais traversées un grand nombre de fois par les rayons lumineux. Pour déterminer la valeur de cette correction on a opéré de deux manières : 1° en vissant les glaces à poste fixe et en faisant le vide dans le tube; on pouvait craindre alors que les flexions et compressions dues à la pression d'environ 40^{kg}, supportée dans ce cas par chaque

(¹) Cet appareil a été construit avec le plus grand soin par M. J. Duboscq; les bobines ont été disposées par M. J. Carpentier.

glace, fissent varier leur pouvoir rotatoire magnétique d'une quantité comparable à celles que l'on voulait mesurer; 2° en mesurant la rotation obtenue avec l'appareil plein d'air, sans les glaces, en vissant ensuite celles-ci, le tube étant plein d'air, et en mesurant la nouvelle rotation magnétique. La différence obtenue donne la correction due aux glaces.

Enfin on a comparé les mesures à la rotation magnétique du sulfure de carbone liquide à la température de 15° en promenant dans le tube un tube plus petit, de $0^m,50$ de long, plein de sulfure de carbone, et en prenant la somme des effets observés dans les diverses positions en regard de chaque bobine.

Au moyen de cet appareil, en faisant passer dans les bobines un courant électrique très-intense, puis en renversant le sens de ce courant, on constate une rotation du plan de polarisation, et cette rotation est inégale pour les diverses couleurs. Lorsque les glaces sont enlevées et que le tube est plein d'air, cette rotation est due uniquement à l'action exercée par le courant électrique sur la colonne d'air. On s'assure de ce fait en observant que l'action est inégale sur les diverses images réfléchies, et inappréciable pour la première, ce qui prouve qu'elle est d'autant plus forte que la colonne gazeuse traversée par la lumière est plus longue.

La moyenne de plusieurs séries concordantes a donné pour l'air du laboratoire, à la température de 30° C. et à la pression de $762^{mm},2$, en observant la quatrième image réfléchie (27^m de gaz), les nombres suivants, que je cite provisoirement, pour montrer seulement la grandeur du phénomène [1] :

Lumière	jaune D...........	$4',98$
»	blanche...........	$5,29$
»	verre vert n° 1....	$7,50$

Dans les mêmes conditions d'intensité magnétique, le tube plein de sulfure de carbone liquide aurait donné pour la lumière jaune D et la quatrième image réfléchie une rotation magnétique double de 646°20' ou 38780'. Le pouvoir rotatoire magnétique de l'air

[1] On a donné les nombres avec les centièmes de minute, tels qu'ils résultent du calcul des moyennes. Les erreurs d'expériences peuvent affecter les dixièmes de minute.

rapporté à celui du sulfure de carbone pris pour unité serait donc, dans les conditions de l'expérience précédente, environ

$$R = \frac{4',98}{38780} = 0,000128.$$

Si l'on prend l'indice de réfraction de l'air donné par Dulong, $n = 1,000294$, on trouve

$$\frac{R}{n^2(n^2-1)} = 0,213,$$

rapport très-voisin de ceux que j'avais trouvés pour un grand nombre de corps solides et liquides.

La vapeur de sulfure de carbone mélangée à l'air, à la température de 28°,6, et à une tension voisine de $416^{mm},6$, tension maximum à cette température, la pression du mélange étant $767^{mm},2$, a donné pour la troisième image réfléchie, ou 21^m de gaz traversé par la lumière, une rotation magnétique double qui, diminuée de celle de l'air et corrigée de l'action des glaces, a été trouvée de 12',45. Dans les mêmes conditions magnétiques, le sulfure de carbone liquide aurait donné pour la troisième image et les mêmes rayons lumineux environ 32152'.

Les nombres précédents peuvent servir à une comparaison intéressante; si l'on admet que pour un même volume de vapeur saturée, dans des limites étroites de température et de pression, les rotations soient proportionnelles aux pressions, on trouve qu'à la pression de 760^{mm} la vapeur de sulfure de carbone saturée donnerait 22',7, ce qui correspondrait à un pouvoir rotatoire égal à 0,000706. En prenant l'indice de réfraction donné par Dulong, $n = 1,0015$, on trouverait

$$\frac{R}{n^2(n^2-1)} = 0,234$$

pour la vapeur de sulfure de carbone à 760^{mm} de pression. Or on avait trouvé précédemment pour le sulfure de carbone liquide le nombre presque identique

$$\frac{R}{n^2(n^2-1)} = 0,231.$$

Pour la vapeur de sulfure de carbone, de même que pour l'air, on a mesuré les rotations magnétiques inégales des rayons de diverses couleurs.

Le gaz d'éclairage a manifesté un pouvoir rotatoire magnétique voisin de 0,0002, intermédiaire entre les nombres qui correspondraient théoriquement au gaz des marais et au gaz oléfiant.

Les nombres précédents, bien qu'ils soient déduits de rotations très-faibles, présentent une vérification remarquable des considérations qui m'ont guidé dans ces recherches, savoir : la constance du rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ pour le même corps ou pour les corps d'une même famille chimique.

Dans la présente Note j'ai principalement voulu faire ressortir ce dernier point; quant aux nombres eux-mêmes, ils pourront être légèrement modifiés par mes recherches ultérieures.

J'ai trouvé également des résultats très-intéressants avec divers gaz, notamment avec l'oxygène, mais je crois devoir attendre, pour publier ces nombres, qu'ils soient contrôlés par les moyens d'amplification dont je dispose maintenant, et qui me conduiront, je l'espère, à une approximation plus grande dans les mesures.

Machine parlante de M. Faber; par M. Gariel.

M. Faber s'est proposé de construire une machine réellement parlante, c'est-à-dire produisant les sons et les articulations, et, pour arriver à ce résultat, il a imité, au moins d'une manière générale, les organes de la phonation.

La machine se compose essentiellement de trois parties :

1° La soufflerie;

2° L'appareil producteur du son;

3° L'appareil articulant.

1° Nous n'avons rien de particulier à dire de la soufflerie, qui est destinée à envoyer un courant d'air dans le larynx.

2° L'appareil producteur du son, le *larynx*, est une anche en ivoire dont on peut faire varier dans une certaine limite la lon-

gueur, de manière à changer la hauteur du son produit. On peut regretter que M. Faber n'ait pas cherché à employer un système d'anches membraneuses qui rapprocherait davantage la machine de la réalité.

3° L'appareil articulant comprend une partie destinée à produire les voyelles et une partie pour la production des consonnes. Les voyelles sont dues au passage de l'air à travers des ouvertures de diverses formes pratiquées dans des diaphragmes qui viennent successivement se placer sur le passage du courant d'air sous l'action de leviers mus par des touches; de plus, une cavité spéciale, qui peut être mise en communication avec la précédente, est destinée à produire les sons nasaux : la communication se produit à volonté par un levier spécial. Les consonnes sont dues à l'action de pièces dont le fonctionnement est très-analogue à celui des lèvres, des dents et de la langue. Un moulinet spécial produit le ronflement de l'R. Toutes ces pièces et tous ces organes sont mis en mouvement par quatorze touches qui sont très-ingénieusement disposées, de manière à faire agir avec l'intensité convenable et dans l'ordre nécessaire les organes destinés à produire une syllabe. Le nombre de quatorze touches est suffisant, parce que, à l'aide de touches accessoires, on peut faire varier le caractère d'une consonne du fort au faible, etc.

La parole de la machine est nécessairement monotone; ajoutons qu'elle n'est pas parfaite : certains sons produisent un meilleur effet que d'autres; cependant, en général, on comprend les mots et les phrases prononcés. Certes, on ne peut penser à comparer les sons ainsi produits avec les intonations si variées de la voix humaine; cette machine, indépendamment des perfectionnements qu'elle pourra recevoir, n'en est pas moins intéressante, en ce qu'elle montre nettement le mécanisme de la phonation, qui a pu être reproduite ainsi artificiellement et, par conséquent, obéit absolument aux lois de l'Acoustique.

SÉANCE DU 16 AVRIL 1879.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures.

Cette séance est consacrée à la répétition des expériences nouvelles faites à la Société dans le courant de l'année. Les expériences et appareils dont la liste est donnée ci-après avaient été disposés d'avance. Les auteurs ont donné les explications qui leur étaient demandées.

Supports isolants, par M. Mascart.

Galvanomètres de force électromotrice et d'intensité, par M. Gaiffe.

Lampe électrique à incandescence fonctionnant à l'air libre, par M. Reynier.

Appareil électro-médical à régulateur des intermittences. Moteur à force constante, par M. Trouvé.

Support universel ou électro-diapason permettant d'inscrire et montrer en projection les mouvements vibratoires, par M. A. Duboscq.

Spectres magnétiques; Figures stroboscopiques, présentés par M. Thompson.

Machine électrique, par M. Teploff.

Machine de Holtz à quatre plateaux de 1m de diamètre. Appareil Schwedoff pour l'étude des mouvements vibratoires des cordes, présenté par M. Ducretet.

Microtasimètre d'Edison; Bobine d'induction à étouffoir, présentés par M. Carpentier.

Application des foyers calorifiques aux fers à souder, par M. Paquelin.

Pile thermo-électrique de Noé, disposée par M. Hauck.

Propriété dépolarisante des dissolutions métalliques, par M. Lippmann.

Nouveau régulateur de vitesse; Moteur électromagnétique; Machine magnéto-électrique, par M. Marcel Deprez.

Téléphone de M. Righi.

Différentes formes d'appareils de rotation électromagnétique et déplacement des frotteurs dans la machine Gramme, par M. A. Breguet.

Appareil destiné à effectuer la synthèse des couleurs composées, par M. Pellat.

Phénomène nouveau d'électricité statique, par M. Duter.

Électrophone, par M. Bourseul.

Gyroscope marin de M. E. Dubois; Appareil télégraphique imprimant de Hughes, présentés par M. Dumoulin-Froment.

Projection des expériences de M. Mayer servant à figurer l'hypothèse des attractions et répulsions moléculaires; Prisme redresseur pour appareil à projection, par M. Duboscq.

Régulateur de température, par M. Benoît.

Nouveau spectroscope à vision directe et à très-grande dispersion, par M. Thollon.

Le chromomètre et la photographie des couleurs; Épreuves photographiques de spectres, par M. Cros.
Spectroscope destiné à l'observation des rayons ultra-violets, par M. Cornu.
Téléphone, par M. Gower.
Nouvelle forme d'électroscope, par M. Guerout.
Avertisseur téléphonique, par M. Perrodon.
Non-existence de la dilatation galvanique, par M. Blondlot.
Houppes des cristaux, par M. Bertin.
Balance ordinaire pour laboratoire, par M. Deleuil.
Recherches sur la compressibilité des gaz, par M. Cailletet.
Nouvelles dispositions des expériences d'Ampère ; Roue de Barlow, par M. Nodot.
Explorateur microtéléphonique, par MM. Chardin et Prayer.
Crayon voltaïque, par M. Bellet.
Appareil interférentiel à deux spaths de M. Jamin, construit par M. Lutz.
Pressions exercées par les dépôts galvaniques, par M. Bouty.
Machine parlante de M. Faber, présentée par M. Gariel.
Harmonographe de M. Tisley.
Microphones divers; Avertisseurs téléphoniques; Condensateur chantant.
Expériences d'éclairage électrique avec les lampes de M. Reynier, mises en action par les machines Gramme, construites par MM. Sautter et Lemonnier.

SÉANCE DU 2 MAI 1879.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 avril est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Daniel Stapfer, ingénieur, à Marseille.
Lalande, à Brives.

Le Secrétaire communique une Lettre de M. Rossetti, professeur à l'Université de Padoue. Ce savant cherche à déterminer, par des mesures du rayonnement émis, la température de l'arc électrique et celle des extrémités du charbon.

M. Antoine Breguet présente quelques solutions différentes d'enroulements capables de remplacer celui de M. Alteneck dans les machines magnéto-électriques.

M. Sebert résume les travaux entrepris pour déterminer la pression exercée à l'intérieur des bouches à feu par les gaz pro-

venant de la combustion de la poudre et s'attache spécialement à la description et à l'usage de l'accélérographe imaginé par M. Marcel Deprez.

Lettre de M. Rossetti sur la température de l'arc voltaïque et des deux extrémités du charbon.

« Padoue, 16 avril 1879.

» MONSIEUR LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL,

» J'ai l'honneur de vous adresser le résultat des recherches que je viens de faire pour déterminer la température de l'arc voltaïque et des deux extrémités du charbon au moment de la production de la lumière électrique.

» Voici ce que j'ai obtenu avec une pile de 80 éléments Bunsen de petit type :

	Rayonnement mesuré à ma boussole.	Température.
Pôle positif du charbon........	49,7	2870° C.
» négatif »	30,0	2400° C.

» L'arc voltaïque donne un rayonnement égal à 10,3 dans une expérience et à 10,7 dans une autre, auquel correspond seulement la température de 1630° et 1672°. Mais, en suivant dans ma formule la valeur du pouvoir émissif, on aurait la température de 3500° C.

» Si on laisse tomber sur la pile le rayonnement provenant d'une surface définie, qui comprend l'arc et les deux bouts positif et négatif de charbons (la pile étant placée à une distance = 107,17 fois la surface rayonnante), on a les nombres suivants :

	Rayonnement.	Température moyenne.
Pile de 80 éléments...........	45,59	2784° C.
» 70 »	35,04	2536° C.
» 60 »	29,76	2334° C.
» 50 »	23,24	2190° C.

» Je me propose de continuer ces recherches.

» Je vous prie, etc., » ROSSETTI. »

Solutions d'enroulements électromagnétiques ;
par M. Antoine Breguet.

Dans la séance du 15 novembre dernier, j'ai eu l'honneur d'exposer devant la Société quelques recherches que j'avais entreprises au sujet de la machine de Gramme. J'ai pu relier étroitement la théorie de cette importante machine à celle d'une autre du même genre, inventée par M. Hefner von Alteneck et construite par M. Siemens.

Fig. 1.



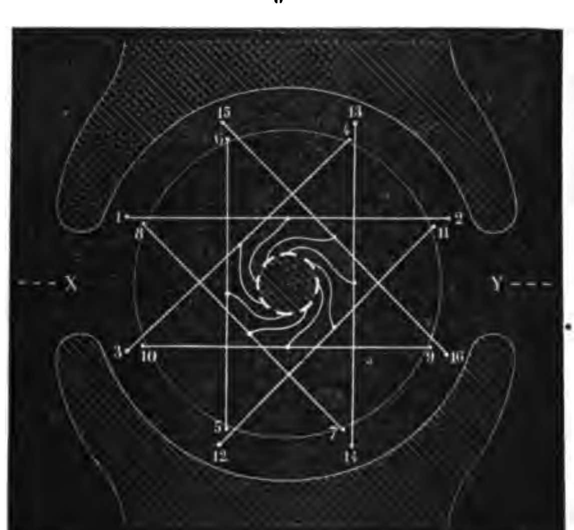
Je reviens aujourd'hui sur ce dernier appareil, afin de rectifier une erreur d'attribution d'abord, et ensuite afin de présenter quelques solutions différentes d'enroulements capables de remplacer ceux de Gramme et d'Alteneck.

L'enroulement de M. Alteneck est si compliqué, si dissymétrique, qu'il faut une grande attention pour arriver à le posséder complétement, et lorsque j'ai voulu vous l'exposer l'an passé, je ne l'avais pas assez étudié, si bien que, sans le savoir, j'ai imaginé un enroulement différent, que j'ai présenté sous le nom d'Alteneck. Il est indiqué par la *fig.* 3. Réduit à sa forme la plus

simple, il n'a que huit fils verticaux, et ses branches transversales, qui se croisent sur les bases inférieures et supérieures, sont des côtés d'octogone régulier étoilé.

Par une coïncidence singulière, un ingénieur allemand, M. Fröhlich, qui, comme moi, voulait décrire l'enroulement d'Alteneck, a, de son côté, fourni une solution qui n'est ni celle qu'il voulait donner, ni la mienne. La *fig.* 2 la représente. Sur l'une des bases se croisent

Fig. 2.



des diamètres, et sur l'autre des côtés d'octogone régulier étoilé.

Il me reste à donner la vraie solution de M. Alteneck (*fig.* 3). Sur l'une des bases se trouvent encore des côtés d'octogones régulier étoilé, et sur l'autre des cordes inégales entre elles et dissymétriques par rapport au centre.

J'ai pu trouver jusqu'à huit nouvelles solutions du même problème; j'en indiquerai seulement une, qui me semble préférable à toutes les autres. Elle est représentée *fig.* 4.

La supériorité consiste dans l'emploi d'une moindre longueur de fil pour produire les mêmes effets : on réduit par là la chaleur développée dans la bobine par le passage des courants, c'est-à-dire que l'on augmente le coefficient économique de la machine.

Or, les fils que l'on doit chercher à raccourcir sont justement

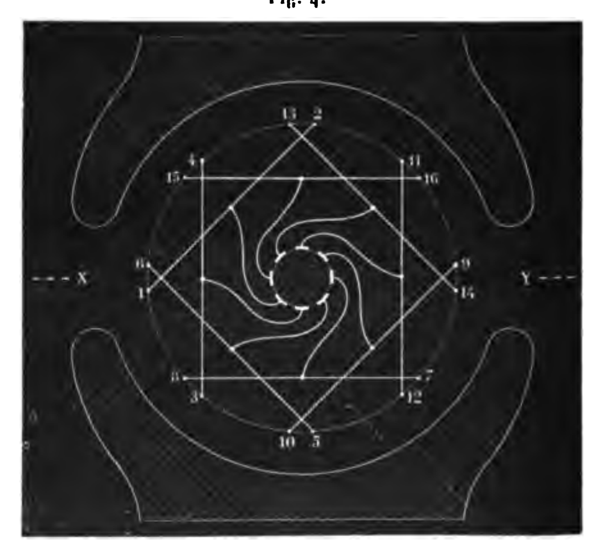
ceux qui se croisent sur les bases du cylindre noyau de la bobine :

Fig. 3.



ce sont donc ceux qui sont visibles sur les *fig.* 1, 2, 3, 4. Les autres

Fig. 4.



parties des conducteurs sont celles qui se projettent suivant les

points numérotés ; elles sont parallèles à l'axe de rotation, et ce sont elles qui deviennent le siége d'une force électromotrice lorsque la bobine tourne dans un champ magnétique. On peut donc les appeler fils *efficaces* et appeler fils *inactifs* ceux qui ne servent qu'à relier convenablement les uns aux autres tous les fils efficaces.

Dans la *fig.* 4, on voit que les fils inactifs ne traversent les bases supérieures et inférieures que suivant des longueurs respectivement égales au côté du carré et au côté de l'octogone étoilé, inscrits dans ces bases, tandis que dans les *fig.* 1 et 2 ces mêmes fils sont des diamètres et des côtés d'octogone étoilé.

Le tableau qui suit présente les quatre enroulements décrits dans ce travail, dans leur ordre de mérite croissant. La première colonne indique, en effet, la longueur de leurs fils inactifs en fonction du rayon des bases. La longueur des fils efficaces est supposée la même dans tous les cas :

Solution Fröhlich (*fig.* 2)...........	30,8
Solution Alteneck (*fig.* 1)...........	30,5
Troisième solution (*fig.* 3).........	28,4
Quatrième solution (*fig.* 4).........	26,0

La quatrième solution est donc la meilleure, et celle de M. Fröhlich la moins favorable.

Accélérographe de M. Marcel Deprez, appareil destiné à la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. Sebert.

Lorsqu'un projectile, placé dans une bouche à feu, est lancé par l'explosion d'une charge de poudre, il se trouve soumis à une pression brusquement développée dont les effets peuvent être rendus très-variables pour une même bouche à feu et une même charge de poudre, lorsqu'on modifie les caractères physiques de cette poudre, densité, forme et dimensions des grains, ou lorsqu'on fait varier les conditions du chargement, et en particulier l'espace initial qui est attribué à la charge.

C'est par l'observation des effets extérieurs du tir, mesure de la vitesse initiale du projectile, dégradation plus ou moins rapide de

la bouche à feu, facilité plus ou moins grande de la manœuvre de la fermeture de culasse, que l'on a été prévenu tout d'abord de ces variations dans le mode d'action de la poudre.

On a dès lors songé à les étudier de plus près, en cherchant à évaluer la pression exercée sur le projectile par les gaz de la poudre et à observer la rapidité de son développement.

On donnera une idée de la difficulté du problème en disant que, d'après les indications que l'on possède, lorsqu'il s'agit du tir d'une bouche à feu établie dans les conditions habituelles du service, la durée du parcours du projectile dans l'âme est comprise entre $\frac{1}{100}$ et $\frac{2}{100}$ de seconde, et que la pression, en kilogrammes par centimètre carré de surface, exercée sur les parois de l'âme, dépasse 2000^{kg} dans les bouches à feu de gros calibre, d'après les évaluations les plus modérées.

Si l'on fait abstraction des ondulations ou oscillations de pression qui doivent exister dans une masse gazeuse animée de mouvements aussi tumultueux que ceux qui se produisent dans l'intérieur d'un canon, on doit concevoir que la pression développée sur le culot du projectile, partant d'abord de zéro, s'accroît avec une très-grande rapidité jusqu'à ce qu'elle ait atteint un maximum, puis décroît plus lentement, par suite principalement de la détente qui résulte du déplacement du projectile, et enfin conserve encore une valeur assez grande au moment où ce dernier sort de l'âme.

Les faits déjà connus conduisent à admettre que le maximum de pression se produit souvent au bout de $\frac{1}{1000}$ ou même seulement $\frac{1}{2000}$ de seconde après l'instant de l'inflammation de la charge et quand le projectile ne s'est encore déplacé que d'une très-faible quantité ; mais on sait aussi que cette durée peut être doublée ou quadruplée pour un même canon par des modifications convenables dans les conditions du chargement, et que l'on peut obtenir ainsi un fonctionnement bien plus avantageux de l'arme, c'est-à-dire une vitesse initiale souvent plus forte avec des pressions intérieures beaucoup moindres.

Bien qu'il ait été fait, tant en France qu'à l'étranger, différents essais pour obtenir la loi du développement des pressions dans l'âme des bouches à feu en fonction du temps, les seuls appareils qui, jusqu'à ce jour, soient entrés, d'une façon effective, dans la pratique sont des instruments qui ne sont destinés qu'à donner la

valeur du maximum de la pression développée en certains points de l'âme, abstraction faite de toute indication relative au moment où ce maximum est obtenu.

En perçant, en des points déterminés de l'âme, des canaux perpendiculaires à la paroi et dans lesquels on loge des pistons parfaitement alésés et de section connue, le problème se trouve ramené à l'évaluation du maximum de l'effort exercé sur ces pistons pendant le tir.

Le poinçon Rodman, en usage en Amérique et en Russie, évalue cet effort par la grandeur de l'empreinte faite, dans une plaque fixe de cuivre, par le tranchant d'un poinçon en acier, de forme pyramidale, poussé directement par le piston.

L'appareil d'écrasement, dit *crusher*, qui a remplacé, en Angleterre, le poinçon Rodman et qui a été rendu réglementaire, en France, dans le service de l'artillerie de la marine, mesure ce même effort par la diminution de hauteur d'un petit cylindre de cuivre comprimé entre la tête du piston et un plan fixe.

Ces deux appareils se graduent au moyen d'opérations de tarage préalables, dans lesquelles on les soumet à des efforts gradués s'exerçant dans des conditions aussi analogues que possible à celles qui se présentent dans le tir, et l'on admet qu'à des déformations identiques, obtenues dans le tarage ou dans le tir, correspondent des pressions exercées égales.

Cette hypothèse ne serait justifiée que si l'on modifiait le mode de tarage suivant la nature des poudres employées, de façon que la loi du développement des pressions qui sont exercées sur la tête du piston par l'effort brusque que l'on doit produire dans l'opération du tarage fût toujours identique à celle du développement des pressions exercées par la poudre. Cette condition est évidemment irréalisable dans la pratique ; on n'a aucun moyen de s'assurer si elle est remplie, et, par suite, les appareils dont il s'agit ne peuvent donner que des indications sans signification précise.

L'appareil dit *accélérographe* qui a été proposé, en 1872, par M. Marcel Deprez, est au contraire destiné à faire connaître la loi du développement, en fonction du temps, des pressions exercées en un point donné de l'âme ; il permet, à cet effet, d'enregistrer la loi du mouvement imprimé par l'action des gaz de la poudre à un piston logé dans un canal normal à la paroi de l'âme, et qui forme

un mobile soumis librement à l'action des gaz et dont on connaît le poids.

On conçoit aisément comment on peut déduire des espaces parcourus par ce piston en fonction du temps les variations de l'accélération du mouvement, et par suite celles de l'effort exercé sur lui.

Les figures ci-jointes représentent cet appareil sous la forme qu'il a reçue en dernier lieu, forme qui ne diffère que par des dispositions de détail de celle qu'avait imaginée M. Marcel Deprez.

L'appareil est figuré avec la disposition qu'il peut recevoir dans un laboratoire pour étudier la loi du développement de la pression produite par la combustion de la poudre en vase clos ; mais il peut être également placé sur une bouche à feu, comme on l'a supposé dans tout ce qui précède.

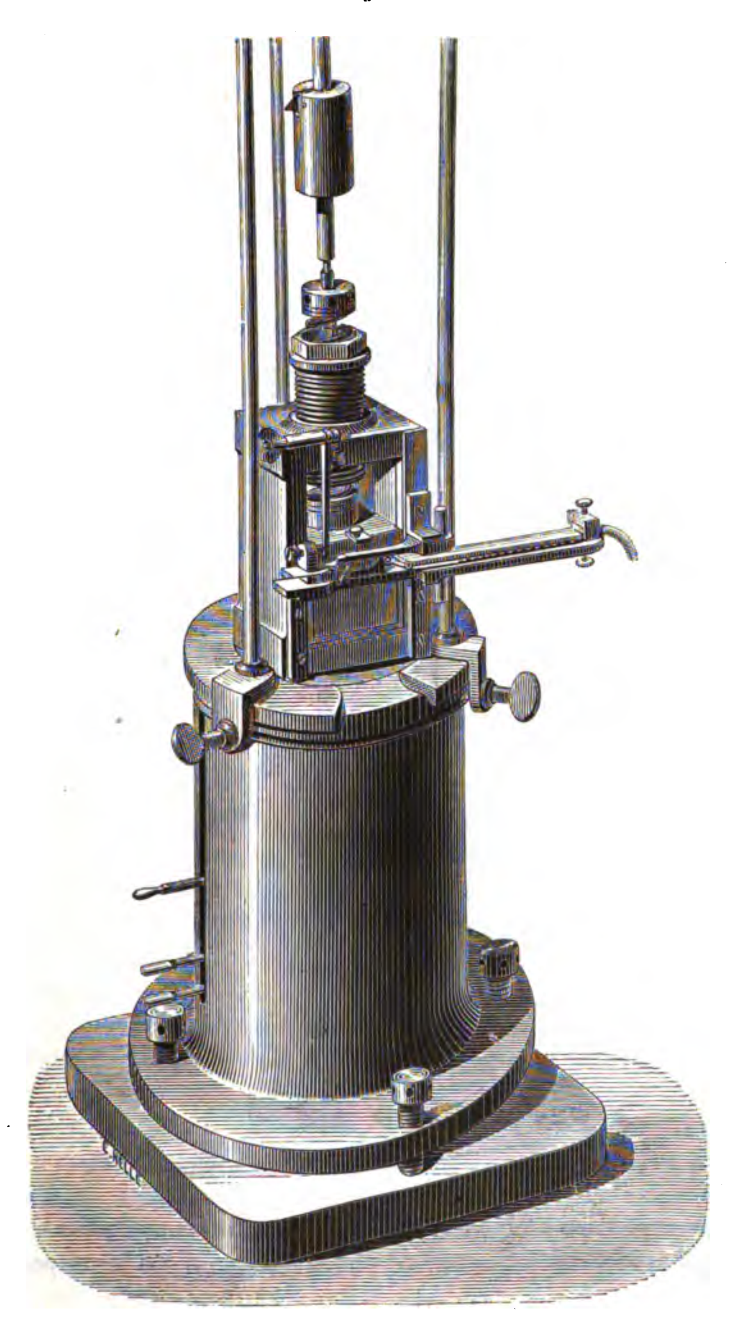
L'*éprouvette de poudrerie* que représente le dessin se compose d'une chambre mobile en acier, à parois très-épaisses, dans laquelle on fait détoner la poudre soumise aux essais. Cette chambre est introduite, par mesure de précaution, dans une enveloppe en bronze munie d'un couvercle, sur laquelle se monte la cage de l'accélérographe proprement dit.

La chambre en acier est fermée par deux bouchons à vis, disposés de façon à former obturateurs pour éviter les fuites de gaz. On obtient cette obturation en terminant ces bouchons par des parties parfaitement ajustées, creusées en forme de cuvettes, dont les bords, taillés en biseau, peuvent subir, par l'effet de la pression des gaz, une certaine expansion, et s'appliquent d'autant plus exactement que la pression est plus élevée, sur les parois du canal cylindrique qu'ils doivent boucher.

Le bouchon inférieur est traversé par un tampon tronconique en acier, parfaitement ajusté, qui est isolé électriquement du corps du bouchon par l'interposition d'une feuille de baudruche collée à la gomme laque. Ce tampon sert à fixer à l'intérieur de la chambre l'extrémité d'un fil de platine très-fin, dont l'autre bout communique avec le corps de l'appareil, et qui, porté au rouge sous l'action d'un courant électrique, met le feu à la charge de poudre au contact de laquelle il se trouve placé.

Le bouchon supérieur est traversé par un canal dans lequel est

Fig. 1.



ajusté avec soin le piston dont on doit enregistrer le mouvement.

Ce piston se prolonge à travers le couvercle de l'enveloppe en

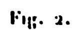
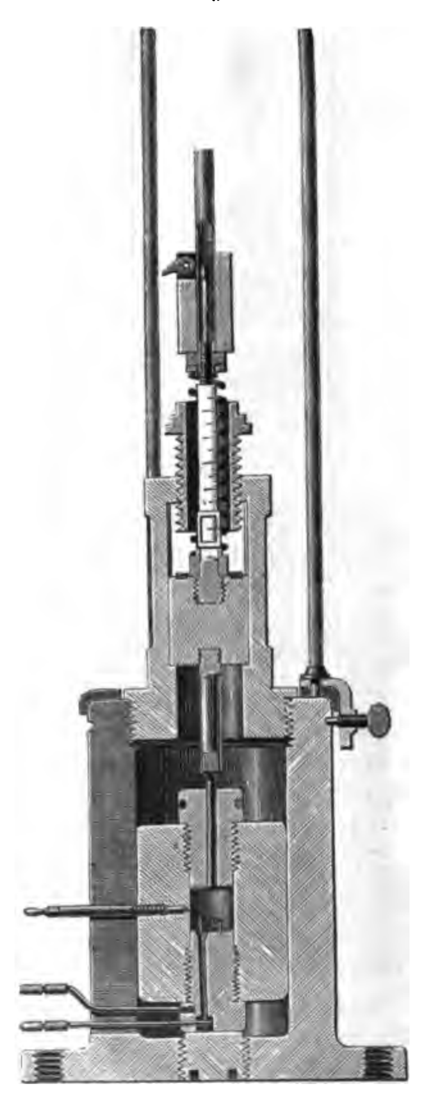


Fig. 2.



bronze et se visse à son extrémité supérieure dans une pièce cubique qui coulisse dans la cage rectangulaire que porte le couvercle.

Le piston et le cube qui le surmonte forment ainsi un mobile de poids connu susceptible de se déplacer librement sous l'action de la force développée par les gaz de la poudre, mais seulement, toutefois, dans la limite de la course que permet la hauteur de la cage qui sert de guide. Dans la face supérieure du cube est encastré un tampon en caoutchouc qui vient buter contre une vis de grand diamètre que porte la cage à sa partie supérieure, et amortit ainsi le choc qui résulte de l'arrêt du mouvement.

La vis, pouvant descendre plus ou moins, permet de diminuer à volonté la course laissée libre à partir de sa valeur extrême, qui est d'environ $0^{m},05$.

C'est la loi du mouvement du piston, ou plutôt du cube qui le surmonte, qu'il s'agit d'enregistrer.

A cet effet, on fixe sur l'une des faces de ce cube un petit tableau carré, en acier, recouvert de noir de fumée.

Devant ce tableau est disposé un petit chariot portant un style formé d'une petite plume d'acier flexible et finement taillée. Le chariot coulisse entre deux rails parallèles disposés horizontalement, et dans ce mouvement son style trace un trait horizontal sur le tableau, à sa partie supérieure, lorsque celui-ci est immobile à sa position initiale.

Le chariot est sollicité à se mouvoir par l'action d'un ressort à détente très-rapide, qui, dans l'appareil représenté par la figure, n'est autre qu'une lanière de caoutchouc fortement tendue. On connaît d'ailleurs, ainsi qu'il sera dit plus loin, la loi exacte du mouvement qu'il prend sous l'influence de ce ressort.

Il est maintenu, au début de chaque expérience, à l'extrémité de sa course, par un organe disposé de façon à le rendre libre au moment précis où le piston se met lui-même en mouvement sous l'action des gaz de la poudre, de telle sorte que les deux mouvements, celui du piston et celui du chariot, qui s'effectuent dans des directions rectangulaires, aient une origine rigoureusement commune.

D'après la disposition de l'appareil, si l'on suppose que, le chariot restant fixe, le piston se déplace seul, le style tracera sur le côté gauche du tableau une ligne verticale qu'il aura parcourue en suivant la loi même du mouvement qu'il s'agit de déterminer. Si l'on suppose, au contraire, que le piston soit immobile et que le

chariot soit rendu libre, le style tracera sur le tableau, à sa partie supérieure, une ligne horizontale qu'il parcourra suivant une loi de mouvement connue.

Si les deux mouvements se produisent simultanément, leur composition engendrera une trace en forme de courbe régulière, dirigée dans l'angle formé par les deux droites précédentes, qui serviront d'axes de coordonnées, et, si l'on mesure avec précision les abscisses et les ordonnées des différents points de cette courbe, les abscisses horizontales pouvant donner les durées du trajet du style, puisque l'on connaît la loi de son mouvement, on aura les parcours verticaux du piston qui correspondent à ces durées connues, et, par conséquent, on pourra relever, par points, la courbe des espaces parcourus par le piston en fonction du temps.

Les lectures suivant les deux axes rectangulaires de coordonnées se font au moyen d'un microscope avec croisée de fils, porté par un chariot qui peut se déplacer suivant deux axes rectangulaires et qui est mis en mouvement dans chacune de ces directions au moyen d'une vis micrométrique. On peut ainsi faire aisément les lectures au centième de millimètre.

Il reste à indiquer comment on obtient la mise en marche simultanée du chariot et du piston et comment on détermine la loi du mouvement du chariot.

Pour assurer la coïncidence du départ du chariot avec le premier déplacement du piston, on maintient ce chariot à l'origine de sa course, malgré la tension exercée par le ressort, au moyen d'un appendice en forme de lame mince horizontale qui le prolonge du côté opposé au ressort et qui s'engage entre deux faces planes appartenant à deux petites pièces métalliques saillantes portées, l'une par la cage fixe de l'appareil, l'autre par le cube qui surmonte le piston et fait corps avec lui. Cette lame se trouve pincée entre ces deux pièces et maintenue par le poids du piston, sur lequel il suffit d'exercer une pression pour provoquer l'adhérence, qui se maintient ensuite jusqu'à ce que le piston soit soulevé.

Pour connaître la loi du mouvement du style, on pourrait, avec l'appareil formé d'un simple chariot sollicité à se mouvoir par la traction directe d'une lanière de caoutchouc, avoir recours au calcul, et l'on s'est servi d'abord de ce procédé.

Mais, pour obtenir plus de précision, on fait usage actuellement

d'une méthode dont l'idée a été donnée par M. Le Roux et qui exige l'emploi d'un chronographe de chute spécial.

Ce chronographe se compose simplement de deux montants verticaux entre lesquels tombe, le plus librement possible, une masse pesante sur laquelle on peut fixer le tableau même, qui doit être placé sur l'accélérographe.

On fixe à la partie inférieure des montants les glissières qui supportent le chariot de cet appareil, en les disposant de telle sorte que le tableau, dans sa chute, passe à fleur de ces glissières et rencontre le style du chariot.

Enfin, on établit sur l'un des montants un petit encliquetage qui maintient le chariot à l'origine de sa course, malgré la tension de la lanière en caoutchouc, et qui est dégagé au moment même du passage du tableau et laisse alors le style se mouvoir.

On obtient ainsi sur ce tableau, recouvert de noir de fumée, une courbe partant de l'un des angles inférieurs et affectant à peu près la forme d'une branche de parabole.

Comme on connaît, d'après la loi de la chute des corps, la vitesse acquise par le tableau au moment du passage de chacun de ses points devant le style, on peut évidemment, en relevant, avec le microscope à double vis micrométrique dont il a été question plus haut, les abscisses et les ordonnées de points régulièrement espacés sur cette courbe, déterminer par points la loi du mouvement horizontal du style que l'on voulait connaître.

Grâce à cette disposition, on enregistre donc, pour chaque expérience, sur la même plaque et au moment même du tir, la courbe qui fait connaître la loi du mouvement du style et celle qui fait connaître la loi du mouvement du piston; on élimine donc ainsi les erreurs qui pourraient provenir de changements dans les conditions physiques de l'appareil, et c'est ce qui permet de faire usage de lanières de caoutchouc, malgré la sensibilité de ce corps aux influences atmosphériques.

On pourrait d'ailleurs remplacer ce dispositif par l'emploi de ressorts métalliques; mais la simplicité des appareils à lanière et la commodité de leur réglage a conduit à les conserver, après avoir essayé d'y substituer différents autres systèmes.

On règle à volonté la tension donnée au caoutchouc, pour obtenir des mouvements plus ou moins rapides du style; on peut aussi

faire varier, au moyen de masses additionnelles, le poids du chariot mobile, et l'on parvient ainsi, après quelques tâtonnements, à obtenir que la courbe tracée par la poudre, pour une expérience déterminée, s'inscrive à très-peu près dans la direction de la diagonale du tableau, de façon à utiliser aussi bien que possible la place qu'offre ce dernier.

En faisant varier la hauteur de chute de l'appareil de tarage, on obtient de même que, pour la tension adoptée pour la lanière de caoutchouc, la courbe de tarage s'inscrive aussi à peu près dans la direction de la diagonale et permette, par conséquent, de relever la loi du mouvement du style dans toute l'étendue de sa course utile.

Enfin, pour obtenir l'enregistrement des effets de la poudre pendant des durées plus ou moins longues, malgré la course restreinte du piston, on peut ralentir le mouvement de ce dernier, soit en faisant varier sa section soumise aux gaz, soit en le chargeant de poids additionnels qui s'appliquent sur la face supérieure du cube par l'intermédiaire d'une tige métallique pénétrant dans le canal ménagé dans l'axe de la vis qui sert à régler la course du piston.

Quand l'appareil est monté sur une bouche à feu, ces poids sont laissés libres; ils sont alors projetés en l'air, à une hauteur de 2^{m} ou 3^{m}, lorsque le piston, arrivant à la fin de sa course, se trouve brusquement arrêté.

Quand l'appareil est monté sur une éprouvette de poudrerie, ces poids peuvent, comme l'indiquent les *fig.* 1 et 2, être guidés par une tige verticale qui les traverse. On peut alors leur faire déplacer, le long de cette tige, un petit curseur, sans masse sensible et monté à frottement doux, qui conserve la trace de la hauteur à laquelle ils parviennent et peut permettre de calculer quelle était la vitesse du piston à la fin de sa course libre. On obtient ainsi un contrôle de la marche de l'appareil.

Il est bon, dans ce cas, de munir le poids inférieur, comme l'indique la *fig.* 1, d'un encliquetage Dobo, qui empêche les masses additionnelles de retomber violemment sur l'appareil.

Un autre contrôle de la marche de l'appareil est donné encore par une lame vibrante placée sur le côté de la cage fixe, et portant une plume qui trace sur le tableau des oscillations destinées à

faire connaître les déplacements du piston qui correspondent à des durées égales à la période des vibrations de cette lame.

Les tracés que l'on obtient avec l'accélérographe sont très-nets et très-réguliers, et permettent d'effectuer avec précision les lectures au microscope.

La *fig.* 3 reproduit les tracés obtenus dans une expérience prise au hasard; la courbe qui part de l'angle inférieur de droite de la figure, tangentiellement à l'axe ouvert des coordonnées, est la courbe de tarage donnée par l'appareil de chute; la courbe tracée

Fig. 3.



3 août 18,6 (n° 2).

lors de l'explosion de la poudre est celle qui part de l'angle supérieur de gauche, et la trace sinusoïdale située près du bord gauche du tableau est la trace du contrôle donnée par la lame vibrante.

Lorsqu'on opère sur une bouche à feu, il faut seulement avoir soin d'orienter l'appareil de façon que le plan du tableau soit normal au plan de tir, pour que le mouvement du chariot ne puisse être modifié par l'accélération due au recul de la bouche à feu.

En construisant les courbes des pressions développées en fonction du temps, déduites de tracés obtenus sur des bouches à feu de divers calibres, on a obtenu des courbes qui présentent des ondulations nombreuses; ces ondulations sont d'autant plus pro-

noncées, comme on devait s'y attendre, que les charges employées sont plus élevées et plus près des limites admissibles pour chaque bouche à feu. En les faisant disparaître par le tracé d'une courbe moyenne, on obtient une représentation simplifiée du mode d'action de la poudre dans chaque cas considéré.

L'accélérographe peut être employé à l'observation de phénomènes autres que ceux de la combustion de la poudre; il a servi déjà, par exemple, à mesurer les variations de pression produites, lors du tir, dans les cylindres, remplis tantôt d'eau et d'air, tantôt d'eau seulement, mais munis alors d'orifices d'écoulement, qui servent de freins dans les nouveaux affûts hydrauliques des bouches à feu de gros calibres. On peut en imaginer aisément d'autres applications.

SÉANCE DU 16 MAI 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Kotchoubey, président de la Société impériale Polytechnique de Russie.
Lefebvre, professeur au lycée de Versailles.
Lvoff (Théodore), secrétaire de la Société impériale Polytechnique de Russie.
Monteil (Silvain), professeur au collége de Vannes.
Roger (Albert), à Épernay.
Thompson (P. Silvanus), professeur au collége de l'Université de Bristol.
Vacher (Paul), à Paris.

M. Gaumet présente un télémètre à double réflexion et décrit les diverses dispositions qu'il a imaginées pour la mesure rapide des distances.

M. Jamin expose les idées théoriques qui l'ont conduit à réaliser

un nouveau brûleur électrique utilisant, pour fixer l'arc à la pointe des charbons, l'action électrodynamique d'un cadre multiplicateur traversé par le courant dans le même sens que les charbons. Les courants d'air produits par la chaleur de l'arc tendent à le courber vers le haut, à augmenter sa longueur et sa résistance et finalement à l'éteindre; mais, en disposant les charbons avec la pointe en bas, l'action électrodynamique et celle des courants d'air agissent en sens contraire et l'arc présente une longueur minimum et une fixité remarquable; de plus la lumière produite est dirigée vers le bas, et l'on recueille sur le sol la plus grande quantité de lumière possible.

M. Jamin a pu allumer jusqu'à onze de ses foyers dans l'un des circuits d'une machine de Gramme, dite *à six lumières*, l'autre circuit restant ouvert. L'intensité lumineuse totale croît jusqu'à une certaine limite avec le nombre de becs allumés dans le circuit; pour un seul, cette intensité a été trouvée équivalente à 120 becs Carcel; avec cinq lumières, l'intensité totale équivaut à 350 becs, soit 70 becs par foyer électrique.

Il est probable que l'effet du circuit est d'augmenter les extra-courants, d'où le grand nombre et l'éclat des foyers entretenus par la machine de Gramme à lumière, laquelle est, comme on sait, à courants alternatifs.

M. Jamin reconnaît, en terminant, le mérite de l'invention de M. Jablochkoff, qui le premier a rendu pratique l'éclairage par l'électricité : le progrès réalisé par le nouveau brûleur ne sera sans doute pas le dernier mot de la Science sur ces matières.

M. Jablochkoff, sans contester l'existence des actions électrodynamiques, demande si l'efficacité du circuit employé par M. Jamin est suffisante pour être pratiquement constatée. Il dit n'avoir pu la reconnaître, ni pour le nombre des allumages, ni pour l'intensité des foyers, dans des expériences comparatives qu'il a faites tant avec sa bougie qu'avec celle de M. Jamin, et en se plaçant autant que possible dans des conditions identiques à celles où M. Jamin a opéré.

Après avoir encore témoigné qu'il rend pleinement justice à M. Jablochkoff, M. Jamin répond que, l'action électrodynamique du circuit étant une conséquence de la loi d'Ampère, son efficacité ne peut faire l'objet d'une discussion. Cette action existe déjà

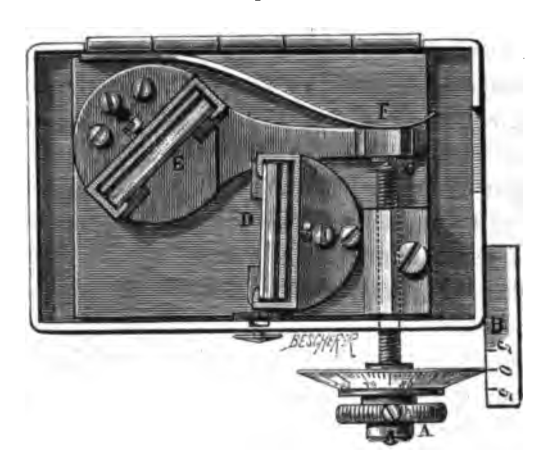
dans les bougies de M. Jablochkoff, mais c'est M. Jamin qui l'y a signalée le premier, en l'appliquant rationnellement à la construction de son nouveau brûleur.

Le télémètre de poche à double réflexion (¹); par M. Gaumet.

Le télémètre de poche à double réflexion comprend deux parties essentielles :

1° Un système de deux miroirs D, E (*fig.* 1), disposés sur une

Fig. 1.



petite plaque métallique, de manière à faire entre eux un angle de 45° ; l'un d'eux, D, est fixe, l'autre, E, est monté sur une alidade mobile; on peut ainsi faire varier l'angle des miroirs de 41° à 49°.

2° Une vis micrométrique AG très-régulière, d'un pas de 0mm,5. La tête de cette vis est un cercle divisé sur sa circonférence en cent parties. Cette vis se meut dans un écrou fixé sur la plaque métallique. Une réglette, sur laquelle sont tracées des divisions égales au pas de la vis, se trouve par sa tranche presque en contact avec le bord du cercle et sert de repère. Un ressort agissant sur l'extrémité de l'alidade établit un contact permanent entre celle-ci

(¹) Instrument destiné à la mesure rapide des distances.

et la pointe de la vis. Ces pièces sont disposées dans une boîte rectangulaire, présentant à la partie postérieure une petite ouverture à fente horizontale servant de viseur et sur la droite une fenêtre rectangulaire par laquelle pénètrent les rayons lumineux émanés des objets vus par double réflexion.

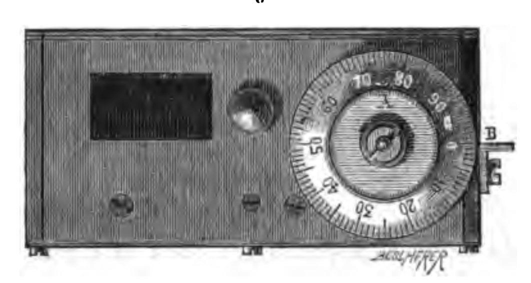
Un cordonnet de soie de 10^{m} de long, enroulé sur une bobine, est joint à l'instrument et sert à la mesure de la base.

Le cordonnet et l'instrument sont contenus dans un sac en peau.

Le télémètre de poche est une application du principe de la double réflexion :

« Lorsqu'un rayon lumineux est réfléchi successivement par deux miroirs plans dans un plan perpendiculaire à l'intersection

Fig. 2.



de ces deux miroirs, l'angle formé par le rayon incident et le rayon réfléchi est double de l'angle des miroirs. »

La mesure d'une distance avec le télémètre de poche comprend trois opérations :

1° Détermination d'un angle droit ou à peu près droit CAM ;

2° Mesure d'une base AB au cordonnet ou au pas ;

3° Mesure de l'angle au sommet ACB.

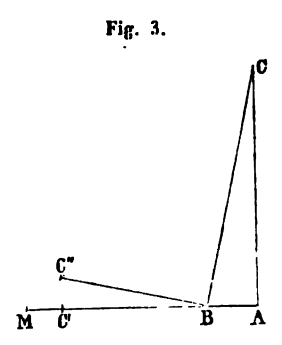
Le télémètre de poche donne le moyen de construire l'angle droit CAM et de mesurer l'angle au sommet ACB.

Un observateur voulant mesurer la distance AC se place en A, de manière à apercevoir sur sa droite le point C. L'image du point C apparaît directement placée au-dessous d'un signal M naturel ou artificiel, vu directement et situé sur la direction perpendiculaire ou presque perpendiculaire à AC.

L'angle CAM est droit toutes les fois que les deux miroirs font un angle de 45°.

Lorsqu'il ne se trouve pas dans la direction perpendiculaire de signal naturel et qu'on ne peut pas y faire placer un signal artificiel, homme ou jalon, on choisit comme signal un point voisin et l'on amène sur ce point l'image C′ du point C, en faisant tourner le miroir d'un petit angle en agissant sur la partie molettée de la vis. (L'erreur résultant de l'obliquité de la base est inférieure au $\frac{1}{200}$ de la distance lorsque l'inclinaison de la base ne dépasse pas 8°. Les positions extrêmes du disque de la vis micrométrique sont réglées de manière que l'angle des deux miroirs varie de 41° à 49°.)

Fig. 3.



L'image du point C apparaissant dans la direction du signal choisi, l'observateur fait mesurer une base AB de 20^m dans la direction AM. Il se porte ensuite à l'extrémité de la base et vise de nouveau le signal. Il ne retrouve plus alors l'image du point C en coïncidence avec le signal M; cette image est reportée à droite, en un point C″, C″BM étant égal à ACB. Pour rétablir la coïncidence, il faut faire tourner le miroir mobile d'un angle égal à la moitié de C″BM ou de ACB qui lui est égal.

Dans le télémètre de poche, l'angle de rotation du miroir est mesuré par sa tangente, et cette mesure est effectuée à l'aide de la vis micrométrique. L'emploi d'un pareil procédé donne une très-grande approximation; on peut, en effet, au moyen de la vis micrométrique, apprécier un déplacement tangentiel de $\frac{1}{[illegible]}$ de millimètre.

Lorsqu'on a produit à l'extrémité de la base la coïncidence entre le signal et l'image du point C, on lit sur la tête de vis le numéro de la division qui est en face du repère.

Le nombre total des divisions qui ont défilé devant la réglette

donne la mesure de la tangente de l'angle de rotation du miroir.

Cet angle est moitié de l'angle ACB, celui-ci étant toujours très-petit; on peut admettre sans erreur sensible que la tangente de l'angle ACB est double de la tangente mesurant l'angle de rotation du miroir.

Si l'on désigne par D la distance à mesurer, par b la base prise, par n le nombre de divisions trouvé après une opération, la distance appréciée sera donnée par la formule $D = b\,\frac{3400}{n}$, dans laquelle 3400 représente, en centièmes de millimètre, la distance qui sépare le pivot du miroir de l'axe de la vis micrométrique. L'instrument étant employé avec la base de 20^m, on aura

$$D = \frac{20 \times 3400}{n} = \frac{68000}{n}.$$

On voit par là qu'en divisant un nombre constant pour chaque instrument par le nombre de divisions trouvé on obtient la distance cherchée. Ce calcul, bien que très-simple, est évité par l'emploi d'une Table fixée sous la partie inférieure de l'instrument et pro-

Fig. 4.

tégée par une feuille de corne transparente. Cette Table donne immédiatement la distance correspondant à chaque nombre de divisions. Cette Table a été construite en supposant une base de 20^m.

La formule précédente montre que, pour avoir la distance correspondant à une base double, triple, etc., il suffit de doubler, tripler le résultat obtenu d'après la Table.

La base de 20^m est suffisante jusqu'à 2000^m, si l'on se contente

de l'approximation du $\frac{1}{10}$. On emploiera la base de 40^m jusqu'à 4000^m, celle de 60^m jusqu'à 6000^m, etc.

La durée moyenne d'une opération télémétrique est inférieure à deux minutes; souvent même le résultat peut être obtenu en moins d'une minute.

Le télémètre peut servir à mesurer la distance de deux points inaccessibles A, B. On déterminera avec le télémètre les distances du point de station O aux points A et B, puis on prendra sur les directions OA, OB des longueurs OA′, OB′ proportionnelles aux distances OA, OB. La mesure de A′B′ donnera, par une simple proportion, la valeur de AB.

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA},$$

d'où

$$AB = A'B' \frac{OA}{OA'}.$$

Soient, par exemple, $OA = 3550^m$, $OB = 4200^m$; on prendra sur OA, OB des longueurs OA′, OB′ égales au $\frac{1}{100}$ de ces distances, et, si A′B′ mesurée est égale à $27^m,50$, la distance AB sera de 2750^m.

On voit ainsi quel parti précieux on peut tirer du télémètre de poche dans l'exécution des levés rapides. Un observateur placé sur une position dominante relèvera, en quelques minutes et presque sans changer de place, les points principaux formant le canevas d'un levé expédié.

C'est ainsi qu'il a été possible de déterminer, sur le sommet de l'Arc de Triomphe, la distance qui existe entre les principaux monuments de Paris.

Emploi de deux instruments conjugués. — On peut mesurer une distance en employant deux instruments conjugués, tenus par deux observateurs placés à l'extrémité d'une base déterminée par un fil de 20^m ou de 40^m de longueur. L'un des opérateurs, placé en A au sommet d'un angle droit CAB, voit l'image du point C dans la direction AB; le second opérateur, placé en B à l'extrémité de la base et visant A, voit l'image de C dans la direction BC′. En déviant cette image par la rotation du miroir mobile, de manière à produire la coïncidence avec le point A, on

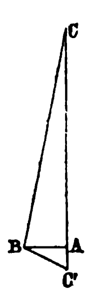
aura un moyen de mesurer l'angle ACB, et par suite de déterminer la distance AC.

Dans ce procédé, les deux visées sont faites simultanément et l'opération gagne encore en rapidité; on a, en outre, l'avantage précieux de répéter une observation plusieurs fois en une minute, ce qui permet de réduire l'erreur des deux tiers.

L'emploi de deux instruments conjugués peut servir à déterminer, sur un navire en repos ou en mouvement, la distance du bord à un point du littoral.

Emploi du télémètre comme équerre à réflexion. — Lorsque le zéro de la vis micrométrique correspond au zéro de la réglette, les deux miroirs par construction font un angle de 45°, et les images des objets doublement réfléchis sont déviées de 90°. Un pareil

Fig. 5.



instrument peut donc servir à élever des perpendiculaires, tout en présentant sur l'équerre d'arpenteur les avantages de ne pas exiger de support, toujours embarrassant à transporter, d'être d'un emploi plus rapide et de posséder une plus grande justesse.

Applications du télémètre de poche. — Le télémètre de poche, essentiellement portatif, d'un maniement commode, d'une exactitude suffisante, est susceptible de nombreuses applications.

Au point de vue militaire, son emploi est tout désigné sur le champ de bataille, dans les reconnaissances, aux avant-postes, dans la guerre de siége.

Les applications du télémètre de poche, considéré comme instrument topographique, ne sont pas moins nombreuses. L'emploi de cet instrument sera des plus avantageux dans l'exécution des levés expédiés pour la détermination rapide des distances. Il per-

mettra de relever en quelques minutes et presque sans changer de place les points principaux formant le canevas du levé.

Le télémètre peut être avantageusement employé par les ingénieurs dans l'exécution de certains avant-projets, par les géomètres dans les opérations d'arpentage, en même temps qu'il devient une partie indispensable du matériel scientifique de tout voyageur chargé de l'établissement d'un levé chorographique.

De quelques phénomènes mécaniques et calorifiques qui accompagnent l'électrolyse; par M. E. Bouty.

(Séances du 4 avril et du 4 juillet 1879.)

Première Partie.

Phénomènes mécaniques.

I. — *Pressions exercées par les dépôts galvaniques.*

Prenons un thermomètre à réservoir cylindrique, rendons-le conducteur en y collant une feuille d'or ou mieux en y déposant chimiquement une mince couche d'argent, et employons-le comme électrode négative dans la décomposition d'un sel de cuivre par exemple. Le dépôt métallique exerce sur le réservoir une pression considérable, car le mercure s'élève dans la tige d'autant plus que le dépôt est plus épais; et l'on ne peut invoquer, pour expliquer cette ascension, ni une élévation locale de température, car le thermomètré est, nous le verrons, un peu plus froid que le liquide ambiant, ni une action électrique directe, car l'excès du thermomètre n'a pas de relation avec l'intensité du courant et il persiste après sa suppression. Il est lié à la qualité *métallique* du dépôt, dont il fournit une sorte de mesure indirecte. Les dépôts très-cristallins ou grossièrement grenus exercent une compression insignifiante; les beaux dépôts produisent des pressions énormes.

Aussi longtemps que l'on conserve le thermomètre enveloppé de la couche métallique, il jouit de propriétés invariables. Il n'a rien perdu de sa sensibilité, et l'on peut le soumettre à des variations de température assez étendues sans produire de nouveau déplacement du zéro. Quand on amincit régulièrement la couche par

l'action d'un acide, le thermomètre se rapproche de son indication normale ; il y revient exactement quand on enlève tout le métal.

M. Mills (¹), qui a découvert avant moi, et sans que j'en eusse connaissance quand j'ai entrepris ce travail, le fait de la contraction des thermomètres, avait annoncé que le cuivre, le fer, l'argent et le nickel contractent, que le cadmium et le zinc dilatent les réservoirs sur lesquels ils s'appliquent. J'ai trouvé que tous les métaux, y compris le zinc, n'agissent jamais que par compression ; mais cette pression, qui n'est pas le fait fondamental, n'est pas nécessairement normale ni la même en tous les points : elle n'est que la conséquence d'une diminution de volume que subit le métal en se déposant. De là des phénomènes assez variés suivant la forme du réservoir du thermomètre, l'état sous lequel le métal se dépose et les actions auxquelles il est soumis ultérieurement.

Je me placerai dans le cas idéal d'un thermomètre à réservoir cylindrique terminé en haut et en bas par des bases planes incompressibles. Soient R son rayon extérieur, R′ le rayon extérieur d'une couche métallique régulière déposée à sa surface. Imaginons que celle-ci éprouve un très-petit retrait qui diminuerait son volume intérieur U d'une quantité aU si le thermomètre ne résistait pas ; mais, comme il résiste, une pression normale P se développe en tous les points de la couche de contact, agissant de l'extérieur vers l'intérieur sur le thermomètre, dont elle diminue le volume extérieur d'une quantité mPU, de l'intérieur vers l'extérieur sur le métal, dont la capacité interne, qui aurait diminué de aU par l'effet du retrait, diminuera seulement de $(a - m'\mathrm{P})\mathrm{U}$. Les variations du volume extérieur du thermomètre et du volume intérieur du métal sont égales. On a donc pour déterminer P la relation

$$(a - m'\mathrm{P})\mathrm{U} = m\mathrm{PU},$$

d'où

$$\mathrm{P} = \frac{a}{m + m'}. \tag{1}$$

Reste à expliciter les coefficients m' et m. La variation m' du

(¹) *Proceedings of the Royal Society of London*, t. XXVI, p. 504.

volume intérieur d'un cylindre soumis extérieurement à la pression zéro, intérieurement à la pression P, serait, d'après Lamé,

$$(2) \qquad m' = \frac{1}{3}\left(8\frac{R^2}{R'^2 - R^2} + 5\right)k',$$

k' désignant le coefficient de compressibilité cubique du métal. C'est de cette formule que Regnault ([1]) s'est servi dans ses expériences sur la compressibilité des liquides. Elle devrait, d'après Wertheim ([2]), être remplacée par

$$(2\ bis) \qquad m' = \frac{1}{4}\left(11\frac{R^2}{R'^2 - R^2} + 8\right)k',$$

qui, appliquée aux mêmes expériences, conduit à des valeurs à peu près identiques des coefficients de compressibilité.

Pour m on déduit des formules de Wertheim, en représentant par r le rayon intérieur du thermomètre, par k le coefficient de compressibilité du verre dont il est formé,

$$(3) \qquad m = \frac{8r^2 + 3R^2}{4(R^2 - r^2)}k.$$

Pour reconnaître si la formule (1) représente bien les phénomènes auxquels j'ai eu affaire, j'ai employé des thermomètres cylindriques à réservoir de $0^m,12$ à $0^m,15$ de longueur, renflés à l'origine de la tige de manière à pouvoir s'adapter, à la place du réservoir à gaz, dans l'appareil construit par M. Ducretet pour les expériences de M. Cailletet. Ces thermomètres m'ont été fournis par M. Alvergniat ; ils sont divisés en cinquièmes de degré. Je les argentais par le procédé Martin, puis j'employais chacun d'eux comme électrode positive au centre d'un élément Daniell ([3]) dont le liquide dépassait le réservoir d'environ $0^m,01$ en dessus et en dessous. Dans ces conditions, la densité du courant était très-sensiblement

---

([1]) *Mémoire sur la compressibilité des liquides* (*Relation des expériences sur les lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur*, t. I, p. 440).

([2]) *Mémoire sur l'équilibre des corps solides homogènes*, p. 33 (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XIII).

([3]) Zinc, sulfate de zinc au maximum de concentration, sulfate de cuivre concentré.

constante en tous les points de la surface soumise au cuivrage. On observait d'heure en heure et comparativement les indications du thermomètre cuivré et d'un thermomètre type. Au bout d'un certain temps, on déterminait par une pesée la quantité de métal précipitée.

Soient Q le poids de cuivre déposé pendant l'unité de temps sur l'unité de surface du cylindre, R′ la valeur que possède au temps t le rayon extérieur de la couche, D sa densité ; on a

$$(4) \qquad 2\varpi RQT = \pi(R'^2 - R^2)D.$$

Mais, si l'on admet la valeur (2 *bis*) de m donnée par Wertheim,

$$(5) \quad \left\{ \begin{aligned} P &= \frac{a}{m + \frac{1}{4}\left(11\frac{R^2}{R'^2 - R^2} + 8\right)k'} = \frac{\frac{a}{m+2k'}(R'^2 - R^2)}{(R'^2 - R^2) + \frac{11}{4}\frac{k'}{m+2k'}R^2} \\ &= \frac{\frac{a}{m+2k'}t}{t + \frac{11}{8}\frac{k'}{m+2k'}\frac{D}{Q}R} = \frac{At}{t+B}, \end{aligned} \right.$$

$$(6) \qquad A = \frac{a}{m+2k'},$$

$$(7) \qquad B = \frac{11}{8}\frac{k'}{m+2k'}\frac{D}{Q}R.$$

On sait que la diminution du volume intérieur U′ du thermomètre est proportionnelle à la pression exercée à sa surface, soit $m''PU'$; on a, d'après Wertheim,

$$(8) \qquad m'' = \frac{11}{4}\frac{R^2}{R^2 - r^2}k.$$

Mais, quand le réservoir diminue de $m''PU'$, le liquide s'élève dans la tige de $6480m''P$ degrés environ. L'excès E du thermomètre, évalué en degrés, sera donc

$$(9) \qquad E = 6480\,m''P = 6480\,m''\frac{At}{t+B} = \frac{A't}{t+B},$$

$$(10) \qquad A' = 6480\,m''A.$$

1° On vérifie que les observations sont exactement représentées par la forme de fonction que nous venons de trouver. Je citerai à titre d'exemples quelques-uns des résultats que j'ai obtenus, ainsi qu'une expérience de M. Mills.

Thermomètre n° 1.

$$R = 2^{mm},941, \quad r = 2^{mm},08, \quad Q = 19^{mgr},3,$$
$$A' = 5,5, \quad B = 25.$$

Temps en heures.	E observé.	E calculé.
0,75	0°,19	0°,16
2,75	0,54	0,54
5,33	0,925	0,95
6,83	1,17	1,20
8,50	1,35	1,46
9,83	1,57	1,54
12,91	1,98	1,86
23,50	2,66	2,66

Thermomètre n° 2.

$$R = 2^{mm},626, \quad r = 2^{mm},074, \quad Q = 16^{mgr},66,$$
$$A' = 7, \quad B = 18.$$

Temps en heures.	E observé.	E calculé.
0,83	0°,30	0°,30
1,8	0,62	0,63
2,8	0,82	0,94
3,8	1,12	1,22
5,8	1,61	1,71
6,8	1,60	1,92
7,8	1,89	2,11
8,8	2,07	2,30
9,8	2,33	2,41
13,0	2,88	2,93
24,0	4,50	4,00

Thermomètre n° 3.

$R = 1^{mm},950$, $r = 1^{mm},398$, $Q = 20^{mgr},8$, $A' = 4,7$, $B = 14$.

Temps en heures.	E observé.	E calculé.
	°	°
0,75	0,42	0,24
2,75	1,01	0,77
5,33	1,29	1,30
6,83	1,47	1,54
8,50	1,54	1,77
9,83	1,76	1,95
12,91	1,83	2,25
23,5	2,99	2,99

Observation de M. Mills.

$A' = 11,217$, $B = 15$.

Temps en heures.	E observé.	E calculé.	E D'après M. Mills.
	°	°	°
1	0,697	0,701	0,741
2	1,300	1,322	1,361
3	1,901	1,869	1,892
4	2,495	2,361	2,354
5	2,750	2,804	2,765
6,5	3,392	3,405	3,310
8	3,858	3,823	3,790
9	3,941	4,206	4,084
10	4,238	4,483	4,361
48	8,915	8,546	10,052

Les nombres de la quatrième colonne de ce dernier Tableau sont calculés au moyen d'une formule exponentielle très-compliquée, donnée par M. Mills (¹).

(¹) $E = 11,217 - 9,859.0,96363^t - 1,358.0,71841^t$;

les divers coefficients n'ont aucune relation indiquée avec les dimensions du réservoir du thermomètre.

2° La limite A vers laquelle tend la pression pour un dépôt d'épaisseur indéfinie ne dépend que de la qualité du métal et de la compressibilité extérieure m du thermomètre ; elle ne dépend pas directement de R. Il n'en est pas de même de B : la pression s'approche d'autant plus vite de sa limite que le rayon R est plus petit. L'expérience montre en effet que la contraction d'un thermomètre presque linéaire est très-rapide, tandis que je n'ai pu observer qu'une contraction insignifiante sur un gros thermomètre à alcool de $0^{m},03$ de diamètre, bien qu'il fût muni d'une tige extrêmement capillaire.

3° Pour un même thermomètre, recouvert de métal par des courants d'intensités différentes, le produit du coefficient B par le poids Q, qui mesure la *densité* du courant, est un nombre constant :

$$QB = \frac{11}{8} \frac{k'}{m + 2k'} DR. \tag{11}$$

Voici les valeurs trouvées pour ce produit, d'après les meilleures expériences :

Thermomètre n° 1.

Q.	B.	QB.
$0^{gr},0193$	25	0,4825
0,0225	21	0,4725
	Moyenne....	0,4775

Thermomètre n° 2.

Q.	B.	QB.
$0^{gr},01666$	18	0,300
0,0208	15	0,312
	Moyenne....	0,306

Thermomètre n° 3.

Q.	B.	QB.
$0^{gr},0149$	20	0,298
0,0208	15	0,312
	Moyenne....	0,305

4° De la formule (10) on tire

$$(12)\qquad k' = \frac{8QBm}{11DR - 16QB}.$$

On peut se proposer de calculer k' d'après les valeurs de QB et de m trouvées pour les divers thermomètres. On déduit m de l'observation de la compressibilité intérieure m'' au moyen de la formule

$$(13)\qquad m = \frac{8r^2 + 3R^2}{11R^2} m'',$$

obtenue en éliminant k entre les formules (3) et (8).

Pour élever le mercure dans la tige du thermomètre n° 1 d'une quantité égale à 1°, c'est-à-dire pour diminuer le volume du réservoir de $\frac{1}{6480}$ de sa valeur, il fallait une pression extérieure de $11^{atm},427$ (¹), soit de $11^{kg},807$ par centimètre carré. Par une pression de 1^{kgm}, le réservoir diminuera d'une fraction

$$m'' = \frac{1}{11,807}\,\frac{1}{6480}.$$

On a, pour ce thermomètre, $R = 2^{mm},941$, $r = 2^{mm},08$; on en déduit, d'après la formule (12),

$$m = 0,63636m'' = \frac{0,63636}{11,807.6480}.$$

Prenons la densité D du cuivre déposé égale à 8,93 ; la formule (12) nous donne

$$k' = \frac{8.0,4775.0,63636}{6480.11,807(11.8,93.0,2941 - 16.0,4775)} = 0,0000014989.$$

Le même calcul a été fait pour les thermomètres nᵒˢ 2 et 3 ; on a trouvé :

Thermomètre	n° 1.....	$k' = 0,0000014989$
»	n° 2.....	0,0000014823
»	n° 3.....	0,0000014806
Moyenne.....		0,0000014873 (²).

(¹) Pour le thermomètre n° 2 cette pression est seulement de $8^{atm},608$, et de $11^{atm},150$ pour le thermomètre n° 3.

(²) Dans une Note insérée aux *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*,

Regnault obtint directement, pour le cuivre écroui,

$$k' = 0,000001317.$$

La coïncidence des nombres précédents avec celui-là paraîtra très-suffisante, eu égard à la multiplicité des éléments qui interviennent dans le calcul, et surtout à l'incertitude de la valeur des produits constants QB, qui ne peut être connue avec quelque précision qu'en multipliant beaucoup les séries d'expériences faites avec chaque thermomètre.

Reste à savoir quelle est la diminution de volume a qu'il faut invoquer pour expliquer la contraction des thermomètres. Des formules (6) et (10) on tire

$$(14) \qquad a = \frac{(m + 2k')A'}{6480\,m''};$$

les expériences consignées dans les Tableaux ci-dessus donnent :

Thermomètre n° 1...	$Q = 19^{mgr},3$	$a = 0,0007348$
	$Q = 22,5$	$a = 0,0009218$
Thermomètre n° 2...	$Q = 16,66$	$a = 0,0009702$
	$Q = 20,8$	$a = 0,0006652$
Thermomètre n° 3...	$Q = 14,9$	$a = 0,0004725$
	$Q = 20,8$	$a = 0,0006345$

Ces valeurs de a sont toutes inférieures à $\frac{1}{1000}$; mais on trouverait des nombres extrêmement faibles pour les dépôts effectués d'une manière trop lente ou trop rapide ($Q < 10^{mgr}, Q > 30^{mgr}$).

En admettant 0,001 comme limite supérieure de a, on trouvera la valeur maximum des pressions qui peuvent être produites sur les divers thermomètres en posant $P = A = \frac{0,001}{m + 2k'}$, ce qui donne :

Pour le thermomètre	n° 1....	$P = 88^{kg},193 = 85^{atm},365$
»	n° 2....	$P = 64,159 = 62,109$
»	n° 3....	$P = 88,102 = 85,288$

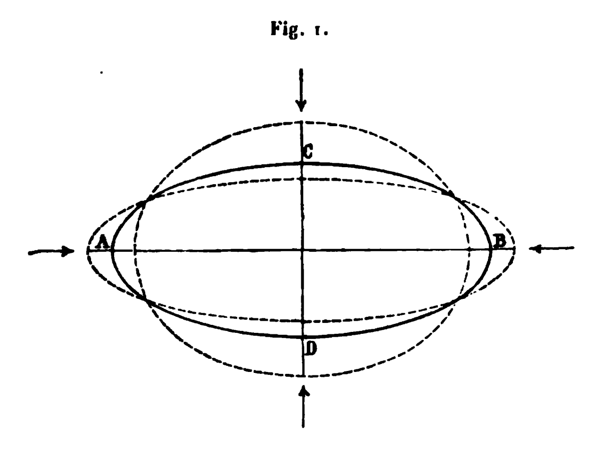
t. LXXXVIII, p. 714, j'ai indiqué des valeurs de k plus faibles, par suite d'une évaluation inexacte du rapport $\frac{m''}{m}$.

Dans l'hypothèse d'un thermomètre absolument incompressible ($m = 0$), on aurait

$$P = \frac{0,001}{2.0,0000014873} = 336^{kg},18 = 325^{atm},44.$$

L'étude de thermomètres de forme quelconque n'offre plus maintenant grand intérêt ([1]). Le cas le plus curieux est celui de thermomètres dont le réservoir est un cylindre elliptique très-aplati, de section telle que ABCD (*fig.* 1). Si l'on exerce mécaniquement une pression normale dans le sens du petit axe CD, l'ellipse

Fig. 1.



s'aplatit, diminue de section, et l'on vérifie que le mercure monte dans la tige du thermomètre; une pression dans le sens de AB rapproche l'ellipse de la forme circulaire, et le mercure baisse. L'effet résultant d'une pression uniforme appliquée normalement en tous les points est une diminution de volume et une ascension du mercure : on le vérifie en comprimant le thermomètre à l'intérieur d'un piézomètre.

Quel effet produira la pression d'un dépôt galvanique d'épaisseur uniforme? Cette pression croissant beaucoup plus vite aux

---

([1]) Le cas des thermomètres à réservoir sphérique dépend de formules très-simples; malheureusement, il est difficile d'obtenir sur une sphère un dépôt galvanique d'épaisseur bien uniforme. Si, comme l'a fait M. Mills, on emploie un anode plan ou cylindrique, les régions équatoriales se couvrent d'un dépôt plus épais que les régions polaires, et l'on se trouve en présence d'un cas très-compliqué.

points où le rayon de courbure est le plus faible, c'est-à-dire aux extrémités du grand axe, l'effet correspondant pourra dominer et alors le mercure baissera dans la tige du thermomètre. C'est ce que j'ai toujours observé sur un thermomètre elliptique de 8^{mm} environ de largeur et de $2^{mm},5$ d'épaisseur. Tous les effets secondaires dépendant de la constriction produisent sur cet appareil des mouvements de la colonne mercurielle inverses de ceux que l'on observe ordinairement.

II. — *Action de la chaleur sur les thermomètres métallisés.*

Il n'est pas difficile de prévoir ce qui arrive quand on élève la température d'un thermomètre métallisé. Soient c et c' les coefficients de dilatation du verre et du métal, a la valeur de la contraction galvanique à zéro, température où nous supposons que le dépôt s'est produit. A t degrés le volume extérieur U du thermomètre nu serait $U(1+ct)$; le volume intérieur du dépôt métallique supposé libre, $U(1-a)(1+c't)$ ou, aux quantités près du second ordre de grandeur, $U(1-a+c't)$. La pression P_t qui doit se produire est déterminée par l'équation

$$(15) \qquad P_t = \frac{a-(c'-c)t}{m+m'}.$$

1° En général, les métaux se dilatant plus que le verre, $c'-c$ est positif et la pression diminue à mesure que la température s'élève. Le thermomètre deviendra exact à la température pour laquelle P_t est égal à zéro, c'est-à-dire pour

$$(16) \qquad t = \frac{a}{c'-c}.$$

Cette température dépend de la grandeur de la contraction, c'est-à-dire de la qualité du métal; elle ne dépend pas de l'épaisseur du dépôt. Ce résultat a été vérifié par l'expérience.

Admettons que les coefficients de dilatation cubique c du verre, c' du cuivre, c'_1 du fer soient

$$c = 0,000025839,$$
$$c' = 0,000051546,$$
$$c'_1 = 0,000035463,$$

et supposons une contraction a égale à $\frac{1}{1000}$; on trouve, pour le cuivre et pour le fer :

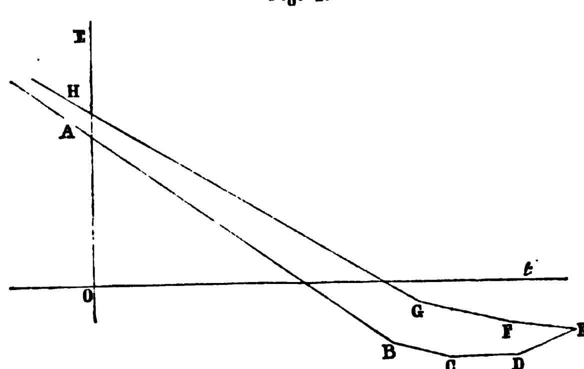
$$\text{Cuivre....}\quad t = \frac{0{,}001}{0{,}0000025707} = 38^\circ{,}90$$

$$\text{Fer......}\quad t_1 = \frac{0.001}{0{,}0000009624} = 103^\circ{,}90$$

Ces nombres sont bien du même ordre de grandeur que ceux que l'on a effectivement observés.

2° Si dans la formule (15) on suppose $m + m'$ invariable, la pression est une fonction linéaire de la température ; il en est de même de l'excès thermométrique. Or, si l'on construit (*fig.* 2) une

Fig. 2.



courbe en prenant pour abscisses les températures, pour ordonnées les excès, les points correspondant aux diverses observations se placent rigoureusement sur une ligne droite AB. On doit en conclure que, dans les limites de température et de pression employées ([1]), les qualités physiques et mécaniques du verre et du métal n'éprouvent pas de variations altérant le chiffre des centièmes dans la valeur numérique des coefficients de dilatation et de compressibilité.

3° Toutefois, on ne peut obtenir de résultats bien concordants qu'en écartant toute variation brusque de température, surtout au delà du point où le thermomètre est exact. La pression exercée

---

([1]) La température a varié dans les limites d'une quarantaine de degrés pour le cuivre, de plus de 70° pour le fer ou le nickel; la pression a varié de -10^{atm} à 50^{atm} et au delà.

par le métal se changeant alors en traction, des déchirures peuvent se produire au contact de l'argent et du verre, et c'est ce qui arrive en effet quand la traction dépasse notablement 10^{atm} à 12^{atm}. Alors les points de la ligne des excès se placent d'une manière tout à fait irrégulière, comme on le voit en BCDEFG, et les déformations produites ne disparaissent pas par le refroidissement. Les points correspondants fournissent la ligne FGHI, dont la portion HI est d'ailleurs parfaitement rectiligne. Si l'on échauffait le thermomètre sans précaution, par exemple par addition progressive d'eau bouillante dans un vase muni d'un agitateur, les déchirures commenceraient à se produire à des températures peu élevées, et le thermomètre présenterait, en se refroidissant, des excès différents de ceux de la période d'échauffement. C'est ce que l'on n'observe jamais quand on ne dépasse pas accidentellement le point B.

III. — *Particularités du nickel.*

M. Raoult [1] a découvert que le nickel poreux, employé comme électrode négative dans un voltamètre, absorbe de l'hydrogène en quantité très-considérable. Quand on l'abandonne ensuite à lui-même, l'hydrogène se dégage complétement en deux ou trois jours.

J'ai déposé du nickel poreux sur des thermomètres, en prenant pour électrode soluble des cubes de nickel poreux du commerce : la contraction est au moins aussi grande qu'avec le cuivre. Quand on fait absorber de l'hydrogène par un de ces thermomètres nickelés, il se rapproche de son indication normale ; mais, quand l'hydrogène se dégage, le nickel se contracte de nouveau et l'excès reparaît en totalité ou en partie, suivant l'état antérieur du nickel. On sait en effet que, quand on a répété plusieurs fois l'expérience de l'absorption de l'hydrogène, le métal finit par tomber en poussière.

Le nickel n'absorbe pas l'hydrogène libre en quantité appréciable, et, quand on lui fait absorber de l'hydrogène électrolytique, il semble qu'il s'établit un véritable équilibre mobile entre les quantités d'hydrogène absorbées et dégagées, car un courant de faible intensité ne suffit pas à saturer le métal.

Il est probable que le palladium présente des phénomènes ana-

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LIX, p. 826; 1869.

logues, au point de vue de l'effet produit sur les thermomètres. Le platine ne donne rien de semblable.

On observe que les dépôts galvaniques ont toujours une certaine tendance à se déchirer. Quand on recouvre un thermomètre de nickel, de fer, de cobalt, il arrive souvent que le dépôt s'ouvre, comme une écorce qui se détache, et même se replie en dehors. C'est une conséquence de la grandeur des pressions auxquelles la couche métallique intérieure se trouve soumise; mais, dans le cas du nickel, il est impossible de ne pas attribuer à l'hydrogène un rôle spécial. J'ai observé que les déchirures ne se produisent qu'aux points où l'on voit apparaître quelques petites bulles de gaz : l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau est absorbé par le nickel, diminue par places sa résistance et favorise sa rupture. De là la nécessité de n'employer que des courants faibles et des dissolutions que l'on maintient concentrées à l'aide d'une électrode positive soluble. L'hydrogène paraît d'ailleurs tout aussi nuisible à la qualité des dépôts galvaniques même avec les métaux qui ne l'absorbent pas en quantité appréciable.

Deuxième Partie.

Phénomènes calorifiques.

I. — *Sur un phénomène analogue au phénomène de Peltier.*

On sait que, quand on décompose par la pile un sel dissous, les deux électrodes sont en général à des températures différentes, mais on n'a formulé à cet égard aucune loi précise; on s'est borné à invoquer des actions chimiques secondaires qui, produites indépendamment du courant, ne provoquent de variation de température qu'au lieu où elles s'effectuent.

Les thermomètres métallisés peuvent être employés avec succès à l'étude de la température des électrodes. On distinguera sans peine les effets calorifiques des effets de contraction précédemment étudiés aux caractères suivants : 1° ils diminuent par l'agitation du liquide ; 2° ils se produisent dans le même sens avec des thermomètres cylindriques ou avec des thermomètres aplatis, sur lesquels la contraction produit des effets inverses; 3° ils s'exagèrent, dans le rapport des dilatations, si l'on substitue aux thermomètres à mercure des thermomètres à air à réservoir métallisé.

Je considérerai d'abord le cas de l'électrolyse du sulfate de cuivre ou de zinc entre deux thermomètres recouverts du même métal. En employant une force électromotrice médiocre (un élément Bunsen par exemple), on constate que le thermomètre positif s'élève, que le thermomètre négatif s'abaisse au-dessous de la température du liquide ambiant. Ce dernier effet, un peu plus faible que le premier, peut être évalué à $\frac{1}{20}$ de degré environ. Si l'on renverse brusquement le sens du courant, le thermomètre, rendu négatif, baisse beaucoup plus vite que si l'on s'était borné à interrompre le courant. L'électrolyte peut être parfaitement neutre ou notablement acide, pourvu qu'il soit assez concentré pour qu'il n'y ait pas de décomposition de l'eau; le sens du phénomène n'est pas modifié.

Il y a donc au pôle positif, où le métal se dissout, une source permanente de chaleur; au pôle négatif, où il se dépose, une source de froid; l'une et l'autre paraissent très-sensiblement égales et proportionnelles à l'intensité du courant. La chaleur dégagée d'après la loi de Joule, c'est-à-dire proportionnellement à la résistance et au carré de l'intensité du courant, s'ajoute algébriquement à la chaleur dégagée ou absorbée par ces sources, de telle sorte que l'élévation de température au pôle positif est plus forte que la baisse au pôle négatif, et que, quand le courant est suffisamment énergique (trois ou quatre éléments Bunsen), cette baisse fait place à une élévation toujours plus faible qu'au pôle positif.

Pour interpréter ces phénomènes, il ne semble pas que l'on puisse avoir recours aux actions chimiques secondaires, lesquelles ne peuvent que produire de la chaleur, sauf le cas où elles s'accompagnent de dégagements de gaz. Or, dans l'électrolyse du sulfate de cuivre concentré produite par un élément Daniell, on ne voit pas de traces de décomposition de l'eau, et cependant la baisse au pôle négatif est très-nette. De plus, si l'on électrolyse, entre deux thermomètres cuivrés, de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, on n'observe aux deux pôles, quelle que soit l'intensité du courant, qu'une très-faible élévation de température, jamais de baisse.

Il faut donc attribuer les phénomènes observés soit à l'action chimique principale, soit à une cause analogue à celle qui échauffe ou refroidit les soudures métalliques suivant le sens du courant qui les traverse.

Dans le premier cas, on admettra qu'une partie seulement de la

chaleur résultant de la dissolution du cuivre prend part à la production du courant, que celle-là seule se distribue dans les résistances interpolaires conformément à la loi de Joule, que l'excès se dégage aux abords immédiats de l'électrode positive et y produit un échauffement proportionnel à la quantité de cuivre dissous, c'est-à-dire à l'intensité du courant. On conçoit alors que le courant ne pourra fournir à l'électrode négative une quantité de chaleur équivalente à celle qui est absorbée par le dépôt de cuivre; le reste sera emprunté au liquide ambiant sous forme de chaleur sensible, d'où le refroidissement observé. On remarquera que cette explication ne se suffit pas à elle-même, car il faudrait recourir à des hypothèses nouvelles pour déterminer la proportion suivant laquelle doit se faire le partage de la chaleur utilisée par le courant et de la chaleur locale, aux dépens d'une action chimique considérée à tort ou à raison comme simple.

Si l'on assimile la surface de contact cuivre-sulfate de cuivre à une soudure métallique qui s'échaufferait quand le courant passe du cuivre au sulfate, se refroidirait quand il passe du sulfate au cuivre, on est conduit à admettre qu'entre deux lames de cuivre, l'une chaude, l'autre froide, toutes deux placées au sein du sulfate de cuivre, il doit se produire un courant thermo-électrique, et que le cuivre chaud est à l'extérieur le pôle positif. Or l'existence de ce courant, se produisant dans le sens privé, a été constatée par divers expérimentateurs dont je vais rapporter sommairement les observations.

M. Pacinotti (1) prit deux vases de cuivre sans soudure, les disposa concentriquement et remplit l'intervalle d'une solution concentrée d'azotate de cuivre. Refroidissant ensuite le vase extérieur dans de la glace, tandis que le vase intérieur était échauffé par un courant de vapeur, il constata l'existence d'un courant dirigé à l'extérieur du cuivre chaud vers le cuivre froid; la force électromotrice, mesurée par la méthode de Ohm, croissait assez régulièrement avec la différence des températures. En remplaçant les vases de cuivre par des vases de zinc, l'azotate de cuivre par du sulfate de zinc, il trouve une force électromotrice encore plus considérable, qu'il croit pouvoir évaluer à celle de 1 élément Daniell quand on établit entre les deux vases une différence de température de 180°. Le pôle chaud est le pôle positif.

(1) Pacinotti, *Cimento*, t. XIX, p. 234; 1865.

M. Ed. Becquerel ([1]) a constaté que, quand on porte deux lames métalliques à des températures différentes au sein d'une dissolution du même métal, il se produit un courant thermo-électrique et que le métal chaud est le pôle positif à l'extérieur. Pour le cuivre et le sulfate de cuivre et une différence de température de 100°, la force électromotrice ainsi développée serait 0,054 de Daniell.

M. Bleekrode ([2]) employa deux verres à expérience réunis par un siphon : l'un était refroidi dans la glace, l'autre chauffé dans une étuve, tous deux remplis d'une même solution métallique et pourvus d'électrodes du métal dissous. La force électromotrice du système fut mesurée par la méthode de Fechner. Le courant va du pôle chaud au pôle froid à l'extérieur ; avec le sulfate de cuivre, le chlorure de zinc, l'acétate d'argent, la force électromotrice croît assez rapidement avec la température.

L'existence bien constatée de ces courants thermo-électriques implique les phénomènes d'échauffement et de refroidissement des surfaces de contact, tels que je les ai observés, et en fournit une explication complète, indépendante de l'action chimique. Toutefois, il faut bien reconnaître qu'il est impossible de faire passer un courant du cuivre au sulfate de cuivre, ou inversement, sans transporter du cuivre de l'électrode positive à l'électrode négative; la double action chimique d'où résulte ce transport est pratiquement inséparable de l'effet Peltier, comme l'électrolyse est inséparable de la conductibilité électrique des liquides. Le phénomène que j'observe est donc plus compliqué que celui qui se produit à la surface de contact de deux métaux ; mais, puisque tous deux sont proportionnels à l'intensité du courant et réversibles, il est légitime de les rapprocher, comme on réunit, au point de vue de la chaleur dégagée par le courant, la conductibilité métallique et la conductibilité électrolytique.

II. — *Effets de la polarisation des électrodes.*

Dans les cas particuliers qui viennent d'être examinés, les ac-

---

([1]) Ed. Becquerel, *Ann. de Ch. et de Phys.*, 4e série, t. VIII, p. 392 ; 1866. M. Pellat a trouvé tout récemment, pour la force thermo-électrique de contact entre le cuivre et le sulfate de cuivre, un nombre presque identique à celui de M. Ed. Becquerel.

([2]) Bleekrode, *Ann. de Pogg.*, t. CXXXVIII, p. 571 ; 1869.

tions chimiques secondaires n'ont pas d'influence marquée; mais il est bien clair qu'il peut en être autrement quand l'électrolyse est accompagnée de dégagements gazeux et que la polarisation est énergique. L'expérience montre alors qu'il faut distinguer l'effet thermique initial dépendant de l'état antérieur des électrodes, et l'effet permanent en général beaucoup moins accusé : il n'est d'ailleurs nullement évident, *a priori*, que les deux électrodes polarisées en sens inverse doivent toujours être assimilées à une soudure métallique *unique*, parcourue par le courant dans deux directions opposées, plutôt qu'à deux soudures distinctes. Des expériences comparatives sur les effets thermo-électriques et électro-thermiques pourraient seules élucider la question.

Malheureusement, les expériences de thermo-électricité que l'on possède, en dehors de celles qui ont été signalées ci-dessus, ont été faites dans des conditions qui ne permettent pas de distinguer assez nettement l'effet initial de l'effet permanent, d'où il résulte qu'elles sont parfois contradictoires entre elles. Nobili ([1]), Walker ([2]), Henrici ([3]) se sont bornés à plonger dans l'électrolyte deux lames (de platine par exemple) chauffées d'avance à des températures différentes; Faraday ([4]) plongeait les deux lames, à la même température, dans les deux branches inégalement chaudes d'un tube en U, contenant l'électrolyte. Ni l'une ni l'autre méthode ne sont correctes, et les résultats qu'elles ont fournis ne peuvent servir qu'à titre d'indications préliminaires et provisoires.

Je me bornerai à dire qu'il y a, en général, concordance entre le sens indiqué du courant thermo-électrique et l'effet thermique *permanent* que j'observe aux deux électrodes. Dans tous les cas bien constatés, c'est le métal chaud qui est à l'extérieur le pôle positif (tout au moins tant que la température des surfaces de contact ne s'écarte pas beaucoup de la température ordinaire); c'est aussi le pôle positif qui se trouve le plus chaud dans toutes celles de mes expériences où il est possible de constater à coup sûr une différence entre les températures permanentes des électrodes.

([1]) Nobili, *Schweigg. Journ.*, t. LIII, p. 273; 1828.
([2]) Walker, *Ann. de Pogg.*, t. IV, p. 327; 1825.
([3]) Henrici, *Ann de Pogg.*, t. LXXIX, p. 171 et 473; 1850.
([4]) Faraday, *Experimental researches*, 17e série; 1839 à 1852.

Je terminerai en indiquant, dans quelques cas remarquables, le sens du phénomène initial, parfois très-différent de l'effet permanent.

Quand on électrolyse de l'eau acidulée par l'acide sulfurique[1] entre deux thermomètres recouverts de platine et non polarisés, on observe au pôle positif une élévation de température très-considérable, tandis qu'au pôle négatif il n'y a qu'un échauffement faible ou nul, suivant l'intensité du courant employé. Tel est l'effet permanent. Mais, quand le thermomètre platiné que l'on place au pôle négatif a servi pendant quelque temps d'électrode positive, il commence par baisser très-notablement (parfois de plus de $\frac{1}{5}$ de degré) au-dessous de la température du liquide ambiant; cet effet peut même se reproduire sept ou huit fois de suite, bien qu'avec une intensité décroissante, si l'on ouvre et ferme alternativement le circuit, en ayant soin d'agiter le liquide dans les intervalles. Si l'on remplace l'acide sulfurique par l'acide chlorhydrique, l'effet définitif est très-faible aux deux pôles, mais ils s'échauffent très-fort à chaque inversion; enfin, avec le chlorure de platine, on observe à chaque renversement du courant un refroidissement de l'électrode positive, qui, à l'état permanent, est la plus chaude, un fort échauffement de l'électrode négative, qui est normalement la plus froide.

Le sulfate double d'ammoniaque et de nickel, électrolysé entre deux thermomètres nickelés, donne à chaque inversion un très-fort échauffement des deux pôles. Tant que dure cet effet, le dégagement gazeux dont les électrodes sont le siége est suspendu; il reprend avec énergie au bout de peu d'instants, et les deux électrodes reviennent à des températures peu différentes de celles du liquide, le thermomètre positif demeurant toujours le plus chaud. Je rappelle que le nickel absorbe de l'hydrogène et donne lieu à un phénomène particulier de constriction étudié ci-dessus. Il est évident que les dégagements de chaleur constatés au moment de l'inversion du courant tiennent à la combinaison des gaz occlus dans le métal; c'est pourquoi le dégagement est suspendu pendant cette période.

(1) Eau acidulée au $\frac{1}{10}$.

SÉANCE DU 6 JUIN 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 mai est lu et adopté.

M. le comte L. Hugo adresse une Note sur une propriété caractéristique de la base numérale dix.

M. Gariel présente, au nom de M. Silvanus P. Thompson, de nouvelles expériences d'illusion optique.

M. Duboscq rappelle d'anciennes expériences de M. Plateau à peu près identiques à celles de M. S. Thompson.

M. Javal explique les apparences qui viennent d'être signalées par un mouvement rapide de l'œil qui, pour observer un mouvement, suit pendant un instant l'objet mobile et se porte brusquement en arrière.

M. Bouty expose les travaux de MM. du Bois-Reymond, Hermann, Weber et Helmholtz sur les modifications apportées par la transmission téléphonique.

M. Kœnig rend compte des expériences qu'il a entreprises pour décider quelles sont ces modifications.

M. Brisac décrit et fait fonctionner le nouveau brûleur à gaz pour l'éclairage de la rue du Quatre-Septembre. Il est formé de six becs papillons dont les flammes se touchent et sont disposées en cercle au centre de la lanterne. Une sorte de coupe à double paroi, placée au-dessous des becs, est disposée pour produire un double courant d'air intérieurement et extérieurement à la couronne lumineuse et remplacer ainsi la cheminée des lampes à gaz ordinaires. Un bec en veilleuse de très faible débit demeure perpétuellement allumé; un robinet extérieur à la lanterne permet soit de mettre en activité la couronne des six becs, soit de leur substituer, après minuit, un bec central unique identique aux becs de gaz ordinaires de la ville de Paris.

Sur une nouvelle illusion d'optique; par Silvanus P. Thompson, professeur de Physique à l'University College de Bristol.

Au mois de septembre 1877, nous avons présenté à l'Association britannique, à Plymouth, un Mémoire sur quelques nouvelles illusions d'optique, dont la plupart se rapportaient à des effets de mouvement subjectif et illusoire. Depuis cette époque-là, nous avons poursuivi ce Travail encore plus loin, et nous avons perfectionné les moyens de produire la plus importante de ces illusions de mouvement auxquelles notre Mémoire de 1877 était consacré.

L'illusion dont nous parlons est très simple, mais en même temps très saisissante. Nous nous empressons d'abord de décrire la forme la plus simple dans laquelle elle existe.

I. On fait dessiner en noir sur une carte de visite une série de cercles concentriques, de $0^m,001$ de largeur environ, séparés par des intervalles blancs de même largeur. Ces dimensions n'ont rien d'absolu, et, s'il s'agit de montrer le phénomène à un auditoire nombreux, la largeur de chaque cercle peut être augmentée jusqu'à plusieurs centimètres. Il y a pourtant toujours une largeur particulière qui convient mieux à chaque distance.

Si, tenant ce dessin à la main, on vient à lui imprimer, par un léger déplacement circulaire du poignet, un mouvement circulaire dans son plan, le système de cercles paraît tourner autour de son centre, et cette rotation illusoire s'effectue dans le sens du mouvement réel et avec la même vitesse angulaire, c'est-à-dire que, tandis que toute pointe de la figure accomplit son mouvement de translation dans un petit cercle, le système paraît avoir fait une rotation entière autour de son centre.

Cette illusion réussit le mieux lorsque les cercles sont bien définis et que les blancs sont de même largeur que les noirs. Pour que l'effet soit très net, il convient de regarder le cercle pendant son mouvement en fixant le regard, non pas sur le cercle lui-même, mais sur un point voisin.

J'ai fait construire plusieurs figures de cette espèce avec des lignes courbées, elliptiques, circulaires, concentriques et excen-

triques. Elles montrent presque toutes ce phénomène de rotation illusoire.

Un de ces systèmes consiste en un seul cercle noir, à l'intérieur duquel sont figurées un certain nombre de dents régulièrement espacées. En opérant comme nous avons dit plus haut, cette sorte de roue dentée paraît tourner lentement sur son centre, mais cette fois en sens contraire du mouvement réel. Il paraît s'avancer par l'espace angulaire d'une dent pour chaque mouvement complet de la main. Ici encore l'effet est plus satisfaisant quand on ne regarde pas directement le dessin. On peut aussi réunir les cercles concentriques avec des roues dentées dans plusieurs combinaisons qui montrent à la fois les rotations dans les deux sens.

J'ai donné le nom de *cercles strobiques* (*strobic circles*) à ces systèmes tournants.

A l'aide des photographies sur verre, j'ai pu projeter ces dessins sur un écran, où ils étaient obtenus à une très grande échelle. Le petit mouvement circulaire est communiqué à la plaque photographique avec un petit appareil construit par M. Duboscq, de telle sorte que le dessin se meut circulairement sur l'écran. Dans ce cas, on obtient encore l'illusion, chaque cercle semblant tourner autour de son centre.

II. L'explication de ce phénomène qui se présente d'abord repose sur la propriété que possède la rétine de conserver les images pendant un certain temps. Dans cette expérience, on réussit le mieux quand le rayon du mouvement est égal à la largeur d'un cercle noir ou blanc. En ce cas, chaque cercle est déplacé successivement d'une distance égale à sa largeur dans toute direction autour de son centre. L'œil, ne pouvant fixer aucune tache sur le cercle, ne reconnaît pas que le déplacement n'est qu'une translation circulaire et croit regarder un cercle tournant un peu excentriquement autour d'un point.

Mais je pense qu'il est permis de douter que la persistance des impressions rétiniennes puisse expliquer complètement tous les effets.

Si cet effet est seulement un effet de persistance de vision, pourquoi arrive-t-il que l'on réussit mieux quand le système de cercles se trouve à une certaine distance de l'œil, car on trouve assez vite.

que, si les cercles sont très rapprochés, il ne faut pas les regarder de trop loin? Ou encore comment arrive-t-il que le phénomène réussit mieux en fixant le regard sur quelque point voisin?

Sans en vouloir donner une théorie complète, je pense que l'on doit rapprocher de ces phénomènes d'autres qui ont été signalés, au moins en partie, il y a longtemps.

J'ai souvent remarqué que, si l'on fait tourner, comme il a été dit, un système de cercles, en regardant avec l'œil d'autres cercles voisins qui sont réellement fixes, ces derniers semblent aussi tourner autour de leurs centres.

MM. Brewster et Adams ont décrit, il y a trente ans, des apparences assez curieuses qui se rapprochent beaucoup de ce dernier phénomène. J'ai fait plusieurs expériences pareilles, que j'ai décrites dans mon Mémoire de 1877, et qui se trouvent dans le *Monthly Journal of Science* du mois de mars 1879.

Il semble qu'il existe dans l'œil un effet de nature mal définie qui arrive à faire *compensation*, comme disait Brewster, au phénomène réel, parce qu'il est de sens contraire. C'est un effet qui persiste pendant un certain temps après la cessation du phénomène et qui, avant cette cessation ou dès lors, donne seul une sensation de mouvement inverse.

Ainsi, après avoir fixé les yeux pendant deux ou trois minutes sur l'eau qui tombe d'une cascade, si l'on vient brusquement à porter les regards sur des rochers voisins, ceux-ci paraissent se mouvoir de bas en haut. Dans un fleuve rapide, le Rhin, par exemple, au-dessus de la chute de Schaffhouse, les eaux n'ont pas partout la même vitesse, et le courant est beaucoup plus rapide dans la partie médiane que près du rivage. Si, après avoir regardé fixement pendant plusieurs moments la partie centrale, on dirige subitement les yeux sur l'eau qui coule près des bords, il semble que l'eau remonte vers la source. Cette espèce de *compensation* ne semble pas seulement produire des phénomènes de déplacement et de rotation, mais elle peut également produire des changements de grandeur apparente. Si, assis dans un train marchant à grande vitesse, on regarde fixement la campagne qui semble fuir, les objets qui s'éloignent forment sur la rétine des images qui deviennent toujours de plus en plus petites. Il y a un mouvement des images rétiniennes vers le centre de la rétine de tous côtés. Si, dans ces

conditions, on porte brusquement les regards à l'intérieur du wagon sur des objets qui sont immobiles là-dedans, soit les parois, soit même la figure d'un compagnon de voyage, les images rétiniennes conserveront réellement la même grandeur, et cependant ces objets paraîtront croître et se rapprocher.

Il me semble que toute théorie complète de l'illusion de cercles strobiques que je viens de signaler doit aussi tenir compte de ces phénomènes de compensation ou de mouvement complémentaire subjectif.

Note sur la Communication précédente; par M. Javal.

L'œil, pour observer un mouvement, suit pendant un instant l'objet mobile et se porte brusquement en arrière. Cette oscillation fréquemment répétée, est liée à la sensation du mouvement dans un certain sens; quand l'œil se porte ensuite sur un objet immobile, il conserve d'abord le mouvement dont il avait pris l'habitude, et l'on attribue à l'objet une vitesse de signe contraire à celle qu'on veut observer. On peut citer, entre autres phénomènes curieux, l'apparence offerte à l'observation ophtalmoscopique par l'œil d'une personne atteinte de *nystagmus :* cette affection consiste en mouvements continuels et rapides de l'œil; la rétine paraît en conséquence animée d'un mouvement vibratoire dont l'explication est identique à celle du mouvement apparent des cercles de M. S. Thomson.

Recherches sur la différence de phase qui existe entre les vibrations de deux téléphones associés; par M. R. Koenig.

Les expériences que je vais faire connaître ont été instituées dans le but de rechercher la différence de phase qui existe entre les membranes vibrantes de deux téléphones réunis selon le mode usité pour la transmission des dépêches. Cette différence a fait l'objet de diverses recherches qui ont été analysées dans le *Journal de Physique* (1).

(1) Voir *Journal de Physique,* t. VIII, p. 168 à 175.

D'après M. du Bois-Reymond, le mouvement de la membrane du téléphone récepteur n'est pas en concordance avec celui de la membrane du téléphone expéditeur. Les deux mouvements sont en désaccord d'un quart de vibration. De plus les mouvements pendulaires dont se compose un son complexe se reproduisent sans conserver les grandeurs relatives de leurs amplitudes. Par la transmission téléphonique l'intensité des sons graves est diminuée dans une proportion plus forte que celle des sons aigus. D'après M. F. Weber et Helmholtz, les différences de phase et d'intensité seraient très petites et négligeables.

Il importait de donner une méthode expérimentale qui permît de reconnaître la vérité : c'est ce que j'ai entrepris.

I. Deux diapasons A′ et B′, accordés parfaitement à l'unisson, sont placés vis-à-vis des électro-aimants des téléphones A et B, dont ils remplacent les plaques vibrantes. Chaque diapason repose sur un coussin isolant et la distance qui les sépare est suffisamment grande pour que l'un ne puisse pas influencer l'autre. Les téléphones A et B étant réunis à la manière ordinaire, on attaque avec un archet le diapason A′, par exemple : l'oreille placée dans le voisinage de B′ entend immédiatement vibrer ce diapason, dont les amplitudes sont assez grandes. Les vibrations des diapasons A′ et B′ durent assez longtemps pour que l'on puisse les étudier avec le comparateur optique de M. Lissajous ([1]). Le diapason de ce comparateur avait été accordé à l'octave grave des diapasons A′ et B′. Les figures optiques observées prouvaient une différence de phase de $\frac{1}{4}$ de vibration.

Ce mode d'expérimentation exige une grande habileté, car on est obligé d'observer les figures optiques sur les deux diapasons avec le comparateur sans attaquer le diapason entre les deux expériences. Il est nécessaire d'opérer dans un temps relativement court, et cependant il faut chercher sur le deuxième diapason un point lumineux que l'on ne trouve généralement pas tout de suite. Aussi ai-je donné à cette expérience une forme plus pratique et qui n'offre plus de difficultés d'observation. Sous cette forme les deux diapasons téléphoniques portent des miroirs et sont placés dans la

---

([1]) *Journal de Physique*, t. III, p. 265.

position qui permet d'obtenir les figures de Lissajous. On fait alors vibrer l'un d'eux; l'autre se met à vibrer comme dans l'expérience précédente, et la figure résultante est invariablement une ellipse dont les deux axes sont parallèles aux vibrations des diapasons. Or on sait que c'est précisément la figure qui correspond au rapport de l'unisson avec différence de phase de $\frac{1}{4}$.

Les deux diapasons employés étaient, dans la première expérience, $ut_3 = 512$ vibrations; dans la seconde, $sol_1 = 192$ vibrations. Les amplitudes relatives du diapason influencé par l'aimant du téléphone étaient moindres dans le second cas que dans le premier, ce qui résulte évidemment de ce que le nombre d'impulsions dans le premier cas est beaucoup plus grand que le dernier.

II. Il s'agissait maintenant de savoir si les harmoniques contenus dans un son musical présentent, comme les sons fondamentaux, une différence de $\frac{1}{4}$ de phase lorsqu'on compare les vibrations de deux téléphones, émises par l'un et transmises à l'autre. Il eût été évidemment fort difficile d'obtenir un mouvement sonore composé, par exemple, de huit harmoniques avec des différences de phase données. Mais il était permis de supposer que le huitième harmonique produirait exactement le même effet, soit qu'il existât seul dans le timbre du son fondamental, soit qu'il y fût associé aux harmoniques 2, 3, ..., 7. Il suffisait dès lors de produire un mouvement sonore composé seulement de deux sons connus, pouvant agir sur un téléphone, et ensuite, à volonté, de faire naître dans un second téléphone l'un ou l'autre de ces deux sons.

A cet effet, j'ai fixé deux diapasons ut_4 aux extrémités des branches d'un fort diapason qui, ainsi chargé, donnait exactement l'ut_1, de sorte que je pouvais, à volonté, produire les sons 1 et 8, à la fois ou séparément. Ce diapason composé était placé devant un téléphone de manière qu'il présentait à l'aimant l'extrémité de l'un des petits diapasons ut_4, et devant l'aimant d'un second téléphone était placé un diapason ut_4 ordinaire.

En observant à l'aide du comparateur optique ut_1, il eût été difficile de reconnaître la phase du son 8 par l'inspection de la figure compliquée que donne la composition rectangulaire du son 2 avec les sons 1 et 8; mais j'ai pu me convaincre que les vibrations du son 8 ne changent pas de phase lorsque, dans le mouvement

sonore composé des sons 1 et 8, on supprime brusquement le son 1 en appliquant le doigt sur l'une des branches du grand diapason. Pour m'en assurer, j'ai d'abord examiné la phase du petit diapason ut_4 vibrant seul, quand l'intervalle qu'il formait avec le comparateur était assez pur pour que la figure optique restât parfaitement fixe et sans trace de rotation; puis j'ai ébranlé à son tour le grand diapason, pour l'arrêter ensuite au bout de quelques secondes, de sorte qu'il n'y avait plus en mouvement que le diapason ut_4, et j'ai toujours constaté que la figure optique n'avait subi aucun changement.

Comme, pour obtenir le mouvement composé des sons 1 et 8, il faut d'abord ébranler le diapason ut_4, puis le diapason ut_1, les vibrations du premier auraient pu provoquer celles du diapason correspondant, placé devant le second téléphone, avant que le mouvement composé eût eu le temps de s'établir; pour éviter cet inconvénient, j'ai toujours eu soin de ne fermer le circuit qu'après que le grand diapason avait commencé à vibrer à son tour.

Voici comment se faisait ensuite l'observation. Le comparateur optique était d'abord disposé en face du diapason ut_4, qu'il s'agissait d'influencer; puis j'ébranlais les deux parties du diapason composé, je fermais le circuit, et je donnais un coup d'archet sur le diapason du comparateur. Dès que j'avais suffisamment examiné la figure optique du diapason influencé, je mettais rapidement le comparateur en face du diapason ut_4 qui vibrait avec le grand diapason, et j'en examinais également la figure optique, après avoir arrêté le mouvement du diapason ut_1. J'ai pu constater de cette manière qu'entre les vibrations des deux diapasons ut_4 il y avait encore une différence de $\frac{1}{4}$ de phase.

III. Lorsqu'on introduisait une petite bobine d'induction dans le circuit qui reliait les deux téléphones, devant lesquels étaient montés les deux diapasons sol_1, munis de miroirs, les vibrations du diapason influencé étaient trop faibles pour qu'il fût possible d'observer la figure optique avec quelque succès. A la vérité, le trait lumineux vertical, fourni par le diapason qui était excité directement, semblait s'incliner légèrement, et se redresser ensuite quand les vibrations de l'autre diapason étaient arrêtées; mais le phénomène n'était pas assez net pour être décisif.

Les résultats ont été plus satisfaisants avec le comparateur optique; cependant les vibrations du diapason influencé étaient toujours très petites, même sous le microscope, de sorte que l'observation était d'une grande difficulté. Pour obtenir avec ce diapason une figure optique suffisamment nette, il fallait que les vibrations du diapason du comparateur fussent également assez petites, et, pendant qu'on disposait ensuite ce dernier en face du diapason excité directement, leur amplitude avait le plus souvent diminué à tel point qu'il en résultait une figure optique dont les deux dimensions étaient trop inégales pour qu'il fût possible de reconnaître la différence de phase avec certitude.

Dans ces conditions, il n'y a pas lieu de s'étonner que je n'aie pas toujours obtenu des résultats parfaitement concordants. En effet, la différence de phase paraissait quelquefois ne pas dépasser $\frac{1}{4}$, mais elle approchait encore plus souvent de $\frac{1}{2}$, et semblait en général comprise entre ces deux limites.

Comme il suffit que la tonalité d'un des diapasons soit altérée d'une quantité égale à une très petite fraction d'une vibration simple, pour imprimer à la figure optique une rotation qui rendrait impossible toute détermination de la différence de phase entre deux diapasons qu'on ne peut observer simultanément, et que de légères altérations de ce genre surviennent facilement, par exemple à la suite d'une faible variation de température, on ne saurait, dans ces sortes d'expériences, se contenter d'accorder les diapasons une fois pour toutes. Il est indispensable de les vérifier avant chaque expérience et de corriger par un peu de cire la moindre altération des rapports de vibrations rigoureux.

Système de lampe électrique à incandescence;

par M. Émile Reynier.

(Séance du 16 avril 1879.)

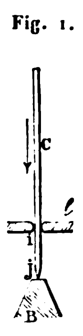
On se rappelle ([1]) que le dispositif original de mon système de lampe à incandescence consiste essentiellement en une baguette

---

([1]) *Société française de Physique*, séance du 17 mai 1878.

de carbone C (*fig.* 1), rendue incandescente, par le passage d'un courant électrique, entre un *contact en bout* B et un *contact latéral* L, et qui progresse en glissant dans celui-ci de manière à buter toujours sur celui-là.

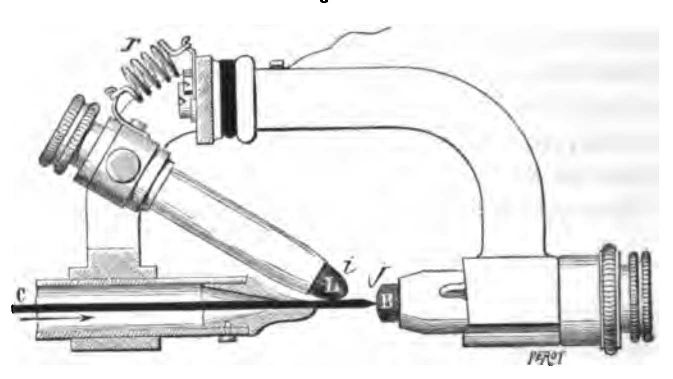
Fig. 1.



Sur ce principe, j'ai successivement construit divers modèles de lampe à incandescence, pour arriver, de perfectionnement en perfectionnement, au brûleur simple et sûr adopté aujourd'hui.

Ce nouveau *bec* est représenté *fig.* 2. Le charbon C, poussé

Fig. 2.



dans le sens de la flèche par un mécanisme quelconque, bute sur le contact en bout B; le contact latéral L, monté à l'extrémité d'un levier, s'appuie sur le charbon par le tirage d'un ressort à boudin *r* et limite entre *i* et *j* l'incandescence de la baguette.

Le contact en bout est serré dans un porte-contact fixé à bayonnette dans la douille inférieure du bec. Pour introduire le charbon

dans la lampe, on retire ce porte-contact, qui laisse libre l'orifice du tube; on pousse le charbon dans ce tube, puis on remet en place le contact en bout, et la lampe est prête à fonctionner.

La valeur photométrique de l'appareil varie de cinq à vingt becs Carcel, selon la longueur d'incandescence qu'on se donne et l'énergie de la source électrique employée. Par exemple, avec une pile de huit couples Bunsen plats (modèle Ruhmkorff), on obtient une lumière de dix à douze becs, utilisable pour des expériences d'Optique.

Avec des électromoteurs puissants, tels que les machines magnéto-électriques employées actuellement dans l'industrie, on peut illuminer un nombre de lampes à incandescence relativement grand et réaliser ainsi un *fractionnement* de lumière avantageux ([1]).

SÉANCE DU 20 JUIN 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bailly, professeur de Physique au Lycée de Pau;
Boulard, ingénieur à Paris;
Claverie, professeur de Physique au Lycée d'Angoulême;
Lachèz, architecte à Paris;

M. Fontaine offre à la Société son Ouvrage sur l'*Éclairage à l'électricité* et communique les résultats des mesures photométriques qu'il a effectuées pour comparer entre elles les machines

---

([1]) A notre dernière séance de Pâques, j'ai illuminé la façade de l'hôtel de la Société d'Encouragement avec une rampe de *vingt-sept lampes* à incandescence, actionnées par trois machines Gramme (neuf lampes par circuit). Chaque lampe valait environ dix becs Carcel. La force motrice dépensée était de huit chevaux, soit 22^{kgm} par foyer de dix becs.

magnéto-électriques à courants continus et à courants alternatifs.

M. Fontaine a représenté graphiquement la distribution de la lumière émise suivant diverses inclinaisons, par une courbe plane tracée en coordonnées polaires.

M. Mascart ne pense pas que la moyenne arithmétique des intensités dans un plan méridien détermine la quantité de lumière émise dans toutes les directions. M. Cornu dit que cette quantité pourrait être représentée par la masse d'une surface sphérique concentrique au bec et dont chaque point aurait une densité proportionnelle à l'éclat de la lumière qui y tombe normalement.

M. Thollon présente un spectroscope à grande dispersion, fournissant un spectre solaire de 15^{m} de longueur. Il montre un dessin du spectre solaire d'une longueur totale de 10^{m} et exécuté par lui au moyen d'une nouvelle méthode d'enregistrement. La tête de la vis qui sert à mettre les prismes à la déviation minimum et à mener chaque raie sous la croisée du réticule a été construite en forme de poulie à gorge. Dans cette gorge, repose une bande de papier sans fin qui défile lorsqu'on tourne la vis, sous un crayon qu'on fait mouvoir parallèlement à l'axe au passage de chaque raie. M. Thollon a inscrit plus de quatre mille raies, tandis que Angström n'en avait guère noté que seize cents. Cet accroissement tient d'une part à l'apparition de raies très fines invisibles avec une dispersion moins grande, d'autre part au dédoublement de certaines raies métalliques. M. Thollon dit que le dédoublement des raies d'un même métal n'est pas indéfini, fait favorable à l'hypothèse des vibrations harmoniques; voisines, elles appartiennent à deux métaux différents. Ces dédoublements peuvent jeter un doute sur certaines inductions de M. Lockyer, qui a pu croire communes à deux métaux des raies très voisines, mais distinctes, les raies métalliques s'élargissant sensiblement quand la dispersion augmente.

M. Gariel communique, au nom de M. Silvanus P. Thompson, l'étude faite par ce physicien de l'aimantation de la plaque du téléphone. Au moyen des spectres magnétiques, il a trouvé que les lignes de forces sont à peu près normales au centre de la plaque, à peu près tangentes vers les bords.

M. Cornu fait part à la Société de ses recherches sur la limite ultra-violette du spectre solaire. Ce spectre est limité vers le violet

par une absorption que nous sommes impuissants à faire disparaître : c'est l'absorption par l'atmosphère. Si l'on compare le spectre solaire du fer avec le spectre de ce métal fourni par l'arc électrique, on trouve qu'il y a coïncidence et proportionnalité pour toutes les parties des deux spectres, qui sont identiques à l'intensité près. Mais, aux environs des raies appelées par M. Cornu T et U, le spectre solaire se montre brusquement couvert d'un voile, qui est précisément la bande d'absorption atmosphérique. Cette bande, qui limite le spectre, recule quand la hauteur du Soleil augmente. La longueur d'onde qu'on peut atteindre diminue proportionnellement au logarithme du sinus de la hauteur solaire; en portant pour un même jour cette longueur en abscisses, ce logarithme en ordonnées, on obtient une ligne droite : d'une saison à l'autre cette droite se déplace quelque peu parallèlement à elle-même. En changeant de latitude ou même d'altitude, on gagne peu de chose. M. Cornu a calculé qu'en s'élevant à une hauteur de 4000^m l'observateur ne gagnerait que six ou sept unités sur la longueur d'onde extrême, qui est de 293 millionièmes environ. Les poussières en suspension dans l'atmosphère n'ont qu'un faible pouvoir absorbant

M. Lacoine, ingénieur à Constantinople, adresse une Note sur l'établissement de la formule relative au rayon d'action des paratonnerres.

Avantages des courants continus pour l'éclairage électrique; par M. Hippolyte Fontaine.

La mesure d'intensité d'un foyer électrique a été jusqu'à ce jour faite de diverses manières, suivant le but que poursuivait l'opérateur. Pour l'éclairage des ateliers, on a coutume de mesurer la lumière envoyée horizontalement dans toutes les directions ; pour les phares, on évalue la puissance des foyers en envoyant, autant que possible, toute la lumière du côté du réflecteur. Tout naturellement, les résultats obtenus ainsi ne sont pas comparables entre eux.

Lorsqu'il s'agit d'évaluer la lumière produite par incandes-

cence ou par arc voltaïque provenant de courants alternatifs, on peut se placer de manière que le photomètre, la lampe Carcel et le foyer électrique soient dans un même plan horizontal. On obtient ainsi des résultats comparables à ceux obtenus en mesurant l'intensité des lampes à huile. Mais quand on est en présence d'un régulateur à charbons verticaux, alimenté par une machine à courants continus, les choses ne doivent pas se passer ainsi, car l'avantage serait considérable en faveur des lampes Carcel.

Les flammes des lampes Carcel sont en effet transparentes, et leur disposition est telle qu'elles donnent leur maximum d'intensité dans le plan horizontal. Ce n'est pas le cas de la lumière électrique produite par des courants continus. L'hypothèse qui l'assimile à une petite sphère lumineuse d'un centimètre de diamètre n'est pas conforme à la réalité. Le charbon supérieur se creuse et le charbon inférieur se taille en pointe; la lumière émane d'une petite coupe lumineuse appliquée contre un corps opaque, et dont la forme et la position varient avec l'intensité et le sens du courant. La quantité de lumière reçue par l'observateur dépend de l'angle sous lequel il voit la coupe lumineuse, et, si l'on considère un cercle tracé dans le plan des charbons, avec la coupe pour centre, chaque point de la circonférence de ce cercle recevra des quantités de lumière différentes. Pour avoir des mesures comparables, il faut ou prendre la moyenne des mesures obtenues sur toute la circonférence, aussi bien dans la lampe Carcel que dans le régulateur électrique, ou mesurer la lumière dans la direction où elle est le plus intense. Or, l'expérience a prouvé que l'intensité maximum d'un foyer électrique a lieu dans une direction faisant un angle de 50° à 60° avec le plan horizontal; ce serait donc sous cet angle qu'il faudrait mesurer sa lumière.

Il est bon de faire remarquer que l'inégalité des quantités de lumière émises dans des directions différentes n'est pas un fait spécial aux foyers électriques, et que, suivant M. Allard, une lampe à huile, mesurée dans une direction inclinée de 50° au-dessous de l'horizon, ne donne que 0,20 de la lumière qu'elle donne dans le plan horizontal (1). La quantité de lumière a donc,

(1) *Mémoire sur l'intensité et la portée des phares*, p. 210; 1878.

dans un cas comme dans l'autre, un maximum, avec cette différence que ce maximum existe, avec la flamme à huile, sur le plan horizontal, et, avec le foyer électrique, à la surface du cône dont la génératrice est inclinée d'environ 60° au-dessous ou au-dessus du plan horizontal, suivant que le charbon positif est au-dessus ou au-dessous de l'autre.

Dans les ateliers de construction et dans la plupart des applications industrielles, les lampes et les régulateurs étant placés dans une position assez élevée par rapport aux objets à éclairer, nous aurions pu, dans nos calculs, prendre comme intensité d'une machine le maximum qu'elle peut produire dans la direction la plus favorable. Mais nous avons préféré faire des expériences directes pour déterminer la moyenne des intensités lumineuses, envoyées dans toutes les directions, aussi bien au-dessus qu'au-dessous du foyer. De cette façon, nous présenterons des mesures réelles pouvant servir de base à un calcul pratique, et non des évaluations spéciales à une seule direction.

Le Tableau I ci-après résume les résultats obtenus dans cette première série d'expériences :

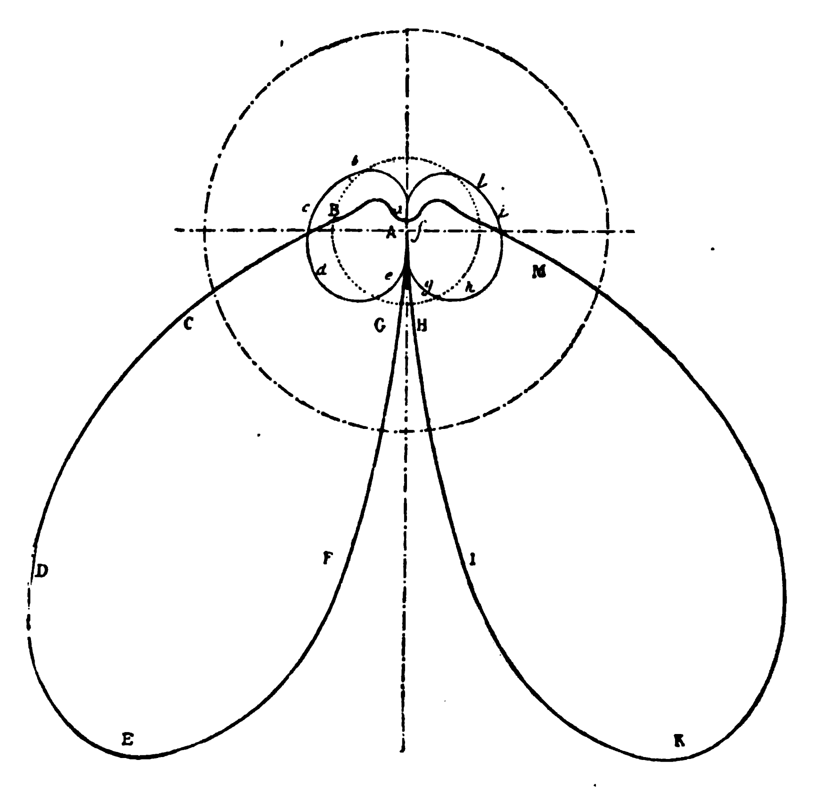
Tableau I. — *Intensités lumineuses dans diverses directions (courants continus.)*

Vue en dessous.		Vue en dessus.		Observations.
Inclinaison sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	Intensité lumineuse en becs.	Inclinaison sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	Intensité lumineuse en becs Carcel.	
0°	225	0°	225	Pendant toutes ces expériences, la vitesse de la machine était de 750 tours, la force motrice absorbée 202kgm, l'écart entre les crayons de 3mm, la longueur du câble de 160m, l'usure des crayons de 0m,07 à l'heure.
15	400	15	144	
30	822	30	130	
45	1175	45	119	
60	1135	60	79	
75	1051	75	21	
90	0	90	12	

En prenant la moyenne des intensités mesurées dans vingt-

quatre directions, douze à droite et douze à gauche, nous avons trouvé quatre cent cinquante-huit becs ; ce qui prouve que la lumière, mesurée horizontalement, est très approximativement la moitié de celle envoyée, en moyenne, dans toutes les directions.

Dès lors, lorsqu'on voudra connaître l'intensité lumineuse d'un appareil électrique à courants continus, il suffira de prendre une mesure photométrique, en plaçant la lampe Carcel, le régulateur



et le photomètre dans un même plan horizontal, et de multiplier par 2 l'intensité observée. Le résultat obtenu sera la véritable moyenne des intensités.

Si au lieu d'employer une machine à courants continus on emploie une machine à courants alternatifs, les résultats sont très différents. Le maximum d'intensité est observé à 15° en dessous de l'horizontale, et il diffère extrêmement peu de l'intensité observée horizontalement.

Généralement les intensités observées horizontalement sont inférieures, pour une même dépense de force motrice, à celles obtenues au moyen de machines à courants continus; voici cependant une expérience dans laquelle on a constaté deux cent vingt-cinq becs avec deux cent cinq kilogrammètres de force, c'est-à-dire à très peu de chose près ce qu'on avait obtenu dans l'expérience citée plus haut. Mais là s'arrête la similitude entre les résultats des deux sortes de machines, et le Tableau II fait bien ressortir l'infériorité des courants alternatifs.

La moyenne des vingt-quatre observations est de cent soixante becs Carcel. Le rapport entre la lumière totale, produite avec une machine à courants alternatifs, est donc de quatre cent cinquante-huit à cent soixante. La première produit trois fois plus de lumière que la seconde.

TABLEAU II. — *Intensités lumineuses dans diverses directions (courants alternatifs).*

VUE EN DESSOUS.		VUE EN DESSUS.		OBSERVATIONS.
Inclinaison sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	Intensité lumineuse en becs Carcel.	Inclinaison sur l'horizontale du rayon lumineux observé.	Intensité lumineuse en becs Carcel.	
0°	225	0°	215	La force employée pendant toute la durée de l'expérience a été de 205kgm.
15	230	15	207	
30	225	30	195	
45	207	45	180	
60	180	60	160	
75	127	75	140	
90	0	90	0	

Pour rendre cette supériorité appréciable à première vue, nous avons tracé les courbes ci-dessus, en divisant une circonférence en vingt-quatre parties égales et en limitant chaque rayon proportionnellement aux intensités observées. La ligne A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, L, M, A, est relative aux courants continus, et la ligne *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *l*, *a* est relative aux courants alternatifs;

les circonférences pointillées ont leur rayon proportionnel aux moyennes calculées. Le foyer lumineux était placé à l'intersection des deux axes rectangulaires.

Établissement de la formule relative au rayon d'action des paratonnerres; par M. Lacoine (1).

Il est admis par l'expérience que la foudre a une tendance à tomber sur les parties métalliques ; si donc, à l'aide d'un paratonnerre, nous arrivons à protéger une surface métallique, à plus forte raison ce même paratonnerre pourra protéger cette même surface non métallique.

Premier cas. — Soit N (*fig.* 1) un nuage situé au-dessus de la

Fig. 1.

surface AC à protéger; supposons-le à une distance telle de la pointe P du paratonnerre PO que la circonférence décrite avec NP pour rayon soit tangente à la surface AC en un point E. Ce nuage N sera également attiré par les points P et E, car ils sont au même potentiel; du reste, cette règle a toujours été admise dans toutes les instructions académiques. Par conséquent, tout point compris sur la surface AC dans le cercle ayant pour rayon OE sera protégé; mais si le nuage était, par exemple, en N′, tout point situé en dehors de E vers A ne le serait pas : le rayon d'action est donc bien OE ou r. Mais on a

$$\overline{BP}^2 = \overline{NP}^2 - \overline{NB}^2;$$

(1) J'ai fait mention de cette formule dans un Rapport adressé en 1873 au Ministère de l'Evcaf.

or NP = NE; donc BP ou EO ou enfin

$$r = \sqrt{\overline{NE}^2 - \overline{NB}^2}.$$

Pour mieux fixer la formule dans la mémoire, nous appellerons NE la hauteur du nuage au-dessus de la surface à protéger, c'est-à-dire au-dessus de l'édifice, soit h_e, et enfin NB sera la hauteur du nuage au-dessus de la pointe, soit h_p, de sorte que la formule deviendra

$$r = \sqrt{h_e^2 - h_p^2}.$$

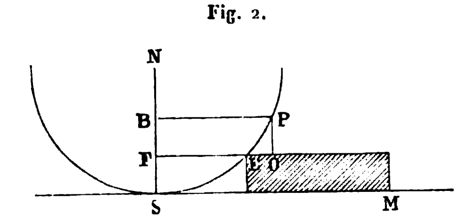
Il suffit donc de connaître la hauteur du nuage pour connaître le rayon d'action d'un paratonnerre donné. On peut obtenir, par l'expérience de plusieurs années et par des mesures directes, la hauteur moyenne des nuages orageux : c'est celle dont on devra tenir compte pour déterminer h_e et h_p, cette hauteur moyenne étant prise au-dessus du niveau moyen du lieu.

Deuxième cas. — La formule précédente suppose le nuage orageux déjà arrivé au-dessus de la surface à protéger et n'est, par conséquent, applicable que pour des paratonnerres placés vers le centre d'un grand édifice, à moins d'un artifice dont il sera question plus loin.

Pour des paratonnerres placés sur les bords d'un édifice, le rayon d'action est généralement de beaucoup diminué.

On voit en effet que, si un nuage N (*fig.* 2) est assez près d'un

Fig. 2.



édifice pour que le cercle tangent au sol S touche le bord E d'un édifice EM et si un paratonnerre est placé en O, il lui faudra la hauteur OP pour protéger le point E.

En raisonnant comme précédemment, on aura

$$EO = BP - FE = r;$$

mais

$$\overline{BP}^2 = \overline{NP}^2 - \overline{NB}^2 = \overline{NS}^2 - \overline{NB}^2,$$

$$\overline{FE}^2 = \overline{NE}^2 - \overline{FN}^2 = \overline{NS}^2 - \overline{FN}^2,$$

d'où enfin

$$r = \sqrt{\overline{NS}^2 - \overline{NB}^2} - \sqrt{\overline{NS}^2 - \overline{NF}^2}.$$

En tenant compte de la même notation que précédemment, nous avons

$$NB = h_p, \quad NF = h_e,$$

et enfin, soit NS la hauteur du nuage au-dessus du sol h_s, on aura définitivement

$$r = \sqrt{h_s^2 - h_p^2} - \sqrt{h_s^2 - h_e^2}.$$

Pour éviter de multiplier les tiges des paratonnerres sur les bords des édifices, comme il faudrait le faire, il vaut mieux entourer le faîte de l'édifice d'un conducteur relié au sol; alors, dans ce cas, on n'aura plus qu'à protéger la surface centrale de l'édifice.

Cette nécessité de multiplier les paratonnerres près des bords des édifices paraît expliquer la fréquence des décharges latérales observées sur les édifices munis de paratonnerres, et pour lesquels on avait adopté la même loi de protection vers le centre et sur les bords.

Les formules obtenues semblent plus d'accord avec la logique que les règles précédemment admises, et pour les cas les plus ordinaires elles conduisent à peu près à ces mêmes règles anciennes; les exemples suivants suffiront pour en donner une idée.

Premier exemple. — Soit 100^m la hauteur moyenne du nuage orageux au-dessus du niveau de la ville considérée (c'est la hauteur que j'ai trouvée pour Constantinople, par rapport au niveau de la mer).

Soient 20^m la hauteur de l'édifice et 10^m la hauteur de la tige; on a alors, en supposant l'édifice au niveau moyen,

$$h_s = 100, \quad h_e = 80, \quad h_p = 70.$$

On obtient alors, en appliquant la formule, pour le rayon d'action

d'un paratonnerre central,

$$r = \sqrt{6400 - 4900} = 38^{m},$$

soit environ quatre fois la hauteur de la tige.

Sur les bords de l'édifice, le même paratonnerre devrait être situé à une distance

$$r = \sqrt{10000 - 4900} - \sqrt{10000 - 6400} = 11^{m},$$

c'est-à-dire que, dans ce cas, le rayon d'action n'est qu'environ égal à la hauteur de la tige.

Deuxième exemple. — Si le même édifice est placé sur une éminence, le rayon de protection sera diminué. Soit, en effet, l'altitude de 50^{m}; on a alors

$$h_e = 80 - 50 = 30, \quad h_p = 70 - 50 = 20,$$

et, pour rayon d'action du paratonnerre central,

$$r = \sqrt{900 - 400} = 22^{m},$$

soit seulement environ deux fois la hauteur de la tige, au lieu de quatre pour le cas précédent.

Troisième exemple. — Soit maintenant une église située au niveau moyen; soit 30^{m} la hauteur de l'église et 40^{m} la hauteur du clocher et de la tige au-dessus du toit de l'église. En appliquant la même formule, on trouve, pour rayon de protection du paratonnerre central, 63^{m}, environ une fois et demie la hauteur de la tige au-dessus de l'édifice.

Nota. — En discutant ces formules, on peut voir que, plus un nuage est élevé, plus est grand le rayon d'action, et que, plus une tige de paratonnerre est longue, moins est grand le rapport qui existe entre le rayon d'action et la longueur de la tige.

SÉANCE DU 4 JUILLET 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 20 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. D'ABBADIE, membre de l'Institut.

M. Saint-Loup adresse une Note sur des expériences qu'il a réalisées pour reconnaître l'influence exercée par un courant d'air rapide rasant l'extrémité d'un tube ouvert, perpendiculairement à la direction de ce tube.

M. Napoli décrit un pantographe planimétrique de son invention. Cet appareil est destiné à reproduire les figures en vraie grandeur. Il se compose d'un parallélogramme articulé, dont deux sommets contigus A et B font l'office de centres de rotation; sur les deux sommets opposés C et D est articulé un second parallélogramme ayant deux de ses sommets en C et D; les deux autres E et F portent une planchette et un stylet traceur à genouillère de Cardan, permettant de suivre le contour d'un solide quelconque dans le plan où se meut le pantographe. Un planimètre d'Amsler convenablement disposé donne l'aire de la figure que cet appareil reproduit.

M. Bouty expose la suite de ses recherches sur l'action de la chaleur sur les thermomètres métallisés (1).

M. Pellat a eu l'occasion de mesurer la force thermo-électrique de contact entre le cuivre et le sulfate de cuivre : elle est égale à $\frac{1}{100}$ de Daniell et dans le sens invoqué par M. Bouty pour l'interprétation de ses expériences.

M. Lamansky a étudié la fluorescence des substances qui, comme le rouge de Magdala, passent pour ne pas obéir à la loi de Stokes depuis les expériences de M. Lommel. Il trouve que la lumière

(1) Le Mémoire complet est inséré page 126 de ce *Bulletin*.

fluorescente est toujours moins réfrangible que la lumière, conformément à la loi de Stokes.

A propos d'une observation de M. Lamansky, M. Henri Becquerel rappelle que, d'après les expériences de M. Becquerel, il n'y a entre les deux phénomènes de la phosphorescence et de la fluorescence qu'une différence de durée, que dans les deux cas la lumière émanée du corps phosphorescent ou fluorescent doit être considérée comme de la lumière *émise* par ce corps aux dépens des radiations absorbées.

M. Niaudet indique un nouveau mode de suspension des aiguilles aimantées, consistant à les placer dans un bateau reposant à la surface d'un liquide. Le bateau peut lui-même être suspendu par un fil de cocon. La mobilité de ce système est supérieure à celle des suspensions ordinaires sur pivot, ou à l'aide d'un fil de cocon.

Sur la loi de Stokes; par M. S. Lamansky.

M. Stokes, dans ses recherches sur la fluorescence, a posé en principe que la lumière fluorescente est d'une réfrangibilité plus faible que la lumière excitatrice. Cette *règle* ou *loi de Stokes* est très importante, parce qu'elle nous montre qu'il existe une relation entre la lumière fluorescente et la lumière incidente.

Il y a déjà huit ans que M. Lommel, professeur de Physique de l'Université d'Erlangen, a commencé à publier ses recherches sur la fluorescence. C'est sur une solution alcoolique de rouge de naphtaline qu'il a pour la première fois observé les effets qu'il cite comme contraires à la loi de Stokes. En employant comme lumière excitatrice la lumière jaune de la soude, Lommel observait que le spectre de la lumière fluorescente était composé de rayons rouges, orangés, jaunes et verts. En conséquence, la lumière fluorescente émise par le rouge de naphtaline contiendrait des rayons plus réfrangibles que les rayons excitateurs. Pour produire la lumière jaune, Lommel prenait plusieurs perles de chlorure de sodium et les mettait dans le brûleur de Bunsen. Dans d'autres expériences, il laissait traverser aux rayons solaires une plaque de verre rouge et concentrait ces rayons avec une lentille sur le rouge de naphta-

line. Dans ce cas, il observait que la lumière fluorescente était composée de rayons rouges, orangés, jaunes et verts. Plus tard, il a fait les mêmes expériences en se servant des rayons du spectre comme lumière excitatrice. Il a constaté qu'il existe beaucoup de substances qui ne suivent pas la loi de Stokes, et, outre le rouge de naphtaline, il a cité la chlorophylle et l'éosine.

Hagenbach a fait de nombreuses observations contraires aux résultats de Lommel. Il a répété les mêmes expériences avec le rouge de naphtaline et n'a pas pu arriver au même résultat. Hagenbach pense que les rayons verts que Lommel observait dans son expérience avec la lumière de la soude provenaient du platine incandescent qui supporte le sel. M. Ed. Becquerel a fait les mêmes expériences avec le rouge de naphtaline et la lumière tamisée par un verre rouge, mais il n'a pu non plus obtenir le même résultat que Lommel.

Lommel, après les observations de Hagenbach, a publié de nouvelles expériences par lesquelles il a cherché à confirmer ses premiers résultats et à se mettre à l'abri des erreurs qu'on lui reproche. En outre, ses résultats ont été dans les derniers temps confirmés par Brauner et Lubarsch.

Lommel utilisait les effets qu'il observait sur le rouge de naphtaline, la chlorophylle et l'éosine pour donner une théorie générale de la fluorescence. Il pense qu'il existe deux formes différentes de fluorescence et il partage toutes les substances en trois classes.

La première forme de fluorescence serait celle dans laquelle chaque rayon homogène excite non seulement les rayons dont la longueur d'onde est plus grande ou égale, mais encore ceux dont la longueur d'onde est plus courte que celle du rayon excitateur.

La deuxième forme de fluorescence est celle dans laquelle chaque rayon homogène excite seulement les rayons qui ont une longueur d'onde plus grande que celle du rayon excitateur ou seulement égale.

La division en trois classes est établie de la manière suivante :

Première classe. — Ce sont les corps dans lesquels on observe la première forme de fluorescence ; dans ces corps, chaque rayon homogène qui est capable de produire la fluorescence peut exciter le spectre entier de fluorescence. Par conséquent, ces corps ne suivent pas la loi de Stokes.

Deuxième classe. — Ce sont les corps dans lesquels on observe la deuxième forme de fluorescence et, par conséquent, dont tout le spectre fluorescent suit la loi de Stokes.

Troisième classe. — Dans la troisième classe rentrent les corps qui montrent les deux formes de fluorescence et dont une partie déterminée du spectre fluorescent affecte la première forme de fluorescence, tandis que les autres parties affectent la deuxième.

Je ne veux pas entrer ici dans une critique plus détaillée de cette théorie de Lommel; j'espère, en effet, démontrer que les effets observés par lui et sur lesquels il base sa théorie de fluorescence ne sont pas confirmés.

Pour vérifier la loi de Stokes, j'ai cru nécessaire de me servir de la méthode suivante. J'ai employé comme lumière excitatrice des rayons parfaitement homogènes et j'ai mesuré la réfrangibilité de la lumière fluorescente, ainsi que celle de la lumière incidente qui excite la fluorescence.

Les rayons réfléchis par un héliostat étaient concentrés avec une lentille achromatique sur une fente, derrière laquelle étaient placés deux prismes de flint et une lentille achromatique; cette dernière était éloignée de la fente d'une distance double de sa distance focale. Ce spectre était assez pur pour qu'on pût y voir les principales raies. On sait que, dans chaque spectre, il y a de la lumière diffuse, et, si l'on prend des rayons d'une couleur déterminée, ils sont toujours accompagnés de la lumière blanche. Pour éviter cette lumière diffuse et recevoir la lumière parfaitement homogène, on se sert de la méthode de Helmholtz, consistant à faire traverser encore une fois un prisme aux rayons homogènes.

Dans mes expériences, je développe le spectre sur la paroi d'une boîte dans laquelle est disposée une fente mobile que l'on peut déplacer dans les différentes parties du spectre et dont on peut modifier à volonté la largeur. Par cette fente je laisse pénétrer dans la boîte, qui contient une cuve remplie de fluide fluorescent, certains rayons du spectre auxquels je fais traverser auparavant un prisme de flint. Après cela je dirige, au moyen d'un prisme à réflexion, ces rayons parfaitement homogènes sur le fluide fluorescent placé dans la cuve. Entre la surface du fluide et la fente de la paroi est placée une lentille achromatique, qui donne l'image colorée de la fente sur la surface du fluide. Avec un second prisme à ré-

flexion, je dirige la lumière qui vient du fluide fluorescent sur la fente du collimateur d'un spectromètre de Brunner. Dans le champ de vision de la lunette du spectromètre, je reçois deux images colorées, l'une produite par la lumière fluorescente, l'autre par celle qui est réfléchie directement à la surface du fluide. Avec cet arrangement, je peux mesurer le minimum de déviation de ces deux images. J'ajouterai que, dans le cas où la lumière incidente avait la même réfrangibilité que la lumière émergente, j'ai, pour mesurer plus exactement la déviation, éloigné la cuve contenant le fluide et mis à sa place un miroir; du reste, on peut, en changeant la direction des prismes à réflexion, recevoir l'une ou l'autre image séparément.

J'ai opéré sur le rouge de naphtaline, l'éosine et la fluorescéine. Pour donner un exemple, je communique ici les valeurs que j'ai obtenues pour la fluorescéine :

Lumière incidente.		Lumière fluorescente.	
Largeur du faisceau.	Déviation moyenne.	Largeur du faisceau.	Déviation moyenne.
2°,51	50',38	1°,25	48',43
0,46	49,59	0,25	48,18
0,46	48,60	0,53	48.12
0,48	48,18	1,60	48,60
0,48	47,56	0,20	47,48

Il résulte de toutes ces expériences que la lumière fluorescente a une réfrangibilité plus faible que la lumière incidente. Dans mes recherches, j'ai pris les fluides à différents états de concentration et en couches de différentes épaisseurs; le résultat a toujours été le même. Chaque fluide a dans le spectre des rayons déterminés qui excitent en lui la plus vive fluorescence; avec d'autres rayons, la fluorescence est plus faible, et elle disparaîtra si l'on opère sur des rayons encore moins réfrangibles. Tous les rayons qui sont plus réfrangibles que les rayons fluorescents excitent dans ce fluide la fluorescence. C'est sur le rouge de naphtaline que j'ai obtenu le plus grand changement de réfrangibilité de la lumière, dans un cas où les rayons incidents dont l'indice de réfraction pour le flint est 1,63917 étaient changés en rayons qui ont 1,61521 pour indice de réfraction; si j'exprime ces valeurs en longueur d'onde, on

peut dire que les rayons de la raie H étaient changés en rayons de longueur d'onde de la raie B.

Après ces recherches, je crois pouvoir conclure que la loi de changement de réfrangibilité de la lumière est parfaitement juste dans la forme générale sous laquelle Stokes l'a émise.

SÉANCE DU 18 JUILLET 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 juillet est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Arnaud, notaire à Barcelonnette (Basses-Alpes).
Lamy, directeur de la manufacture de caoutchouc et gutta-percha à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
Lisbonne, inspecteur de la Compagnie transatlantique, à Paris.
Onde, professeur au Lycée du Havre.
Scola, à Paris.

M. Bouty présente, au nom de M. Saint-Loup, un modèle de phonographe à plateau. Cet appareil est remarquable au point de vue de sa disposition mécanique, qui permet de communiquer à chaque instant au plateau la vitesse angulaire convenable, d'après la distance du style inscripteur au centre.

M. Bouty présente encore, au nom de M. Lutz, un microscope polarisant très portatif. L'appareil s'adapte sur un manche qu'on tient verticalement à la main. Un diaphragme muni de verres colorés permet d'observer dans la lumière monochromatique.

M. Gaumet décrit sous le nom de *campylomètre* un appareil destiné à mesurer la longueur d'une courbe. C'est une roulette mobile sur une vis et dont le contour divisé se déplace en face d'une réglette fixe, sur laquelle on lit directement la longueur parcourue.

M. Gernez étudie l'influence de l'électricité sur l'évaporation.

En réponse à une question de M. d'Almeida, M. Gernez dit qu'il n'a trouvé aucune relation entre le phénomène qu'il observe et la conductibilité plus ou moins grande du liquide employé. Il ne pense pas qu'il y ait connexion intime entre ce phénomène et le phénomène de l'*endosmose électrique*, décrit par Porret.

A ce sujet, M. Lippmann rapporte quelques expériences qu'il a faites sur l'influence de la nature du diaphragme dans le phénomène de Porret. Tous les diaphragmes isolants paraissent être équivalents à ce point de vue.

M. Mascart présente des courbes obtenues au moyen de divers appareils enregistreurs à inscription mécanique. Il signale à ce sujet plusieurs phénomènes nouveaux ou peu connus.

M. Bjerknes expose la théorie des forces apparentes qui naissent entre des corps sphériques enfermés dans un fluide incompressible, au sein duquel ils effectuent des vibrations isochrones.

Phonographe à plateau à mouvement de rotation uniforme; par M. Saint-Loup.

M. Saint-Loup substitue au cylindre des phonographes connus un plateau sur lequel on a tracé une rainure se développant en spirale du centre à la circonférence. Ce plateau reçoit la feuille métallique sur laquelle doivent s'inscrire les vibrations communiquées à la membrane du phonographe et au style inscripteur qui en dépend.

Cette membrane est fixée sur un chariot qui se transporte du centre à la circonférence et *vice versa* par suite de la rotation du plateau, dont le mouvement commande directement une vis avec écrou fixé au chariot de la membrane; le mouvement circulaire est transformé en mouvement rectiligne. Le pas de la vis étant précisément celui du développement de la spirale, le style reste toujours en présence de la rainure spirale du plateau. Du reste, le tracé de cette rainure a été obtenu directement par le déplacement du chariot.

Sans autres détails, ce système ne donnerait pas des tracés équidistants pour toute la surface du plateau; ils seraient très

rapprochés vers le centre, et ils s'écarteraient de plus en plus en s'approchant de la circonférence. En d'autres termes, *le chemin parcouru pour une même durée d'action de la membrane est plus petit au centre qu'à la circonférence du plateau.*

Pour rendre ce tracé uniforme pour toutes les parties du plateau, M. Saint-Loup a imaginé une transformation de mouvement très simple, qui trouvera son application dans bien des cas.

Le mouvement de rotation est communiqué au plateau par un galet à friction agissant sur la face opposée à celle où se trouve la rainure spirale. L'arbre à manivelle de ce galet peut glisser longitudinalement sur ses paliers, afin que le point de contact avec le plateau puisse être déplacé et être amené soit vers le centre, soit vers la circonférence. La vitesse du plateau est ainsi modifiée; elle se ralentit si le galet est amené vers le centre.

Une fourchette, fixée au chariot de la membrane du phonographe, pénètre dans une gorge creusée sur l'arbre du galet. Le déplacement du chariot produit donc celui du galet de friction sur le plateau, et par suite augmente ou diminue sa vitesse de rotation.

La position du galet par rapport à celle du style inscripteur reste toujours la même, d'où il résulte que, si le style est près du centre, le galet y est aussi, et alors la vitesse angulaire du plateau est *plus grande* que lorsque le style et le galet se dirigent vers la circonférence; la vitesse angulaire du plateau devient alors *moindre*, et cela régulièrement et dans un rapport constant. *Le chemin parcouru, pour une même durée d'action de la membrane,* reste constant pour toutes les parties de la rainure spirale du plateau.

Le campylomètre; par M. F. Gaumet.

Le campylomètre [1] est un petit instrument de poche destiné à donner, après une seule opération et par une simple lecture : 1° la longueur métrique d'une ligne quelconque, droite ou courbe, tracée sur une carte ou un plan ; 2° la longueur naturelle correspondant à

[1] Καμπύλος, courbe, μέτρον, mesure.

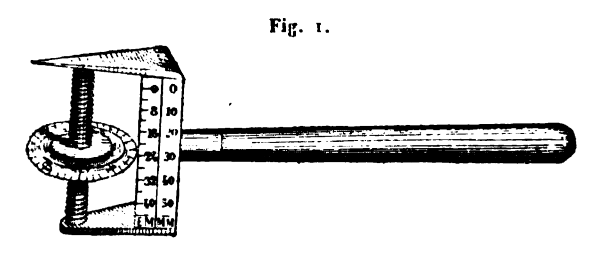
une longueur graphique sur les cartes au $\frac{1}{80000}$ et au $\frac{1}{100000}$ et sur les cartes dont les échelles sont des multiples ou des sous-multiples simples des précédentes.

Le campylomètre est une application d'une propriété de la vis micrométrique déjà mise à profit, dans la construction du télémètre de poche que j'ai présenté à la Société dans la séance du 19 mai dernier.

Cet instrument consiste en un disque denté dont la circonférence est exactement de $0^{m},05$. Les deux faces de ce disque portent chacune un système de divisions : l'une est divisée en quarante parties, l'autre en cinquante parties.

La circonférence du disque ($0^{m},05$) correspond à 4^{km} à l'échelle du $\frac{1}{80000}$ et à 5^{km} à celle du $\frac{1}{100000}$. La division au $\frac{1}{40}$ du disque à la première échelle mesure 100^{m}; il en est de même de la division au $\frac{1}{50}$ pour la deuxième échelle.

Fig. 1.



Le disque denté se meut sur une vis micrométrique dont le pas est de $0^{m},0015$, en regard d'une réglette portant des graduations espacées d'une longueur égale au pas de la vis et représentant des longueurs :

1° De 5, 10, 15, 20......	50^{cm}	à l'échelle	métrique ;
2° De 5, 10, 15, 20......	50^{km}	»	du $\frac{1}{100000}$
3° De 4, 8, 12, 16.......	40^{km}	»	du $\frac{1}{80000}$

La vis micrométrique est fixée dans une monture recourbée de manière à former une pointe servant de guide.

Pour se servir du campylomètre, amener le zéro du disque en regard du zéro de la réglette, puis placer l'instrument sur la carte dans une position perpendiculaire, la pointe servant de guide, et promener le disque denté sur la ligne droite ou sinueuse dont on veut avoir la longueur.

L'opération terminée, remarquer la dernière graduation de la réglette au delà de laquelle le disque s'est arrêté, ajouter à la valeur de cette graduation la longueur complémentaire fournie par la division du disque qui est en regard de la réglette.

Dans le cas de la mesure métrique d'une ligne, ajouter au nombre de centimètres donné par la graduation supérieure le complément en millimètres fourni par la division au $\frac{1}{50}$.

Exemple. — Soient 20 la graduation supérieure, 35 la division au $\frac{1}{50}$ en face de la réglette ; la longueur obtenue est de

$$0^{m},20 + 0^{m},035 = 0^{m},235.$$

Si l'on mesure une ligne sur une carte au $\frac{1}{100000}$, les graduations supérieures représentent des kilomètres, les divisions complémentaires au $\frac{1}{50}$ des centaines de mètres.

Le campylomètre a été spécialement construit pour les cartes au $\frac{1}{80000}$ et au $\frac{1}{100000}$; un calcul facile à faire sur les résultats permettrait de l'utiliser sur des cartes dont les échelles seraient des multiples ou des sous-multiples simples des précédentes.

D'après ce qui précède, on voit que l'emploi du campylomètre n'exige pas le tracé, sur la carte, de l'échelle graphique, mais bien la connaissance de l'échelle numérique. Dans le cas où l'échelle graphique serait seule connue, l'instrument pourrait servir comme rapporteur à l'échelle.

Les différentes applications que nous venons d'énumérer nous dispensent d'insister sur les avantages de l'emploi du campylomètre. Cet instrument extrêmement simple remplacera très avantageusement les procédés aussi longs qu'inexacts en usage jusqu'ici pour la mesure des distances, cette partie principale de la lecture des cartes.

Ajoutons que la partie essentielle du campylomètre peut être vissée à l'extrémité d'un porte-mine et que l'on obtient ainsi réunis en un seul deux objets souvent indispensables.

Distillation des liquides sous l'influence de l'électricité statique; par M. D. Gernez.

La recherche de l'influence que peut exercer l'électricité sur l'évaporation des liquides a depuis longtemps occupé les physiciens, qui espéraient trouver en même temps la solution de problèmes plus ou moins obscurs de Météorologie. J'ai abordé la question d'une manière nouvelle, bien qu'extrêmement simple, et je vais indiquer succinctement le résultat de mes expériences, qui mettent en lumière un fait qui n'a pas, à ma connaissance, été signalé jusqu'ici.

Considérons un tube de verre en forme d'U renversé, dont les deux extrémités sont fermées et traversées par des fils de platine; supposons qu'on ait soudé au coude un appendice tubulaire qui permette d'y introduire un liquide, puis de faire le vide dans l'appareil que l'on peut ensuite fermer à la lampe : si l'on met les deux fils, dont la partie située à l'intérieur du tube est noyée dans le liquide, en communication avec les deux pôles d'une machine de Holtz en activité ([1]), on reconnaît que le liquide passe de l'une des branches dans l'autre, toujours dans le sens de l'écoulement de l'électricité positive vers le pôle négatif. Vient-on à changer le sens de la décharge, la distillation se produit aussitôt en sens inverse ([2]).

Ce phénomène est extrêmement net; il est assez rapide dans certains tubes pour que l'abaissement de niveau soit de plus de $0^{m},001$ par minute ; il présente du reste une grande régularité. On reconnaît que, si le débit de l'électricité est uniforme, les changements

([1]) Lorsqu'on fait des expériences prolongées avec la machine de Holtz, il est avantageux de substituer au fourneau alimenté de charbon que l'on dispose sous la machine une rampe de becs de gaz analogue à celle qui sert à chauffer les bains de sable, bien que la combustion du gaz de l'éclairage produise une assez grande quantité de vapeur d'eau.

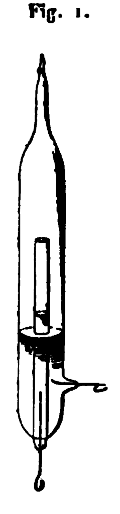
([2]) Le sens suivant lequel se produit cette distillation est contraire à celui que sembleraient indiquer les recherches de M. A. de la Rive. En effet, d'après ce physicien, « la transmission de l'électricité à travers une colonne gazeuse détermine un mouvement dans les particules du gaz, et ce mouvement semble être une impulsion émanant de l'électrode négative. » (*Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. VIII, p. 454; 1866.)

de niveau sont proportionnels à la durée de l'expérience; de plus, il se manifeste dans les gaz ou les vapeurs quelle qu'en soit la pression.

On pourrait, *a priori*, être tenté d'attribuer cette distillation à une différence d'échauffement des liquides aux pôles positif et négatif. On sait, en effet, par les expériences de M. A. de la Rive, que, dans les tubes à gaz très raréfiés, des thermomètres placés au voisinage des deux électrodes indiquent des températures qui dans les premières minutes sont très différentes, la température étant plus élevée près du pôle positif. Mais il faut remarquer que les différences des températures aux deux pôles vont en diminuant avec le temps et finissent par être nulles; il en est de même lorsque la force élastique du gaz augmente: c'est ainsi qu'avec un tube à air atmosphérique la différence des températures dans le voisinage des deux électrodes est nulle quand la pression s'élève à $0^{m},020$. Les expériences suivantes permettent de résoudre la question de l'influence de l'échauffement du liquide sur le phénomène.

1° J'ai disposé un appareil dans lequel les deux couches liquides

Fig. 1.



qui reçoivent, l'une l'électricité positive, l'autre l'électricité négative, sont entourées l'une par l'autre de façon à conserver toujours la même température. A cet effet, j'ai pris un tube de verre (*fig.* 1) ouvert à une extrémité et dont l'autre extrémité,

fermée retenait un fil de platine soudé; je l'ai entouré d'un large tube ayant même axe, soudé au premier un peu au-dessus de son extrémité fermée et portant un fil de platine soudé latéralement; j'ai étiré le tube extérieur, et, après avoir introduit du liquide dans le tube le plus étroit et dans l'espace compris entre les deux tubes, j'ai fait le vide dans l'appareil et l'ai scellé à la lampe. Lorsqu'on fait arriver l'électricité positive dans le liquide contenu dans le tube le plus étroit et l'électricité négative dans le liquide extérieur, il y a distillation de l'intérieur vers l'extérieur; si l'on change le sens de la décharge, on observe que le liquide distille de l'extérieur vers le tube intérieur. Ici les deux liquides sont sensiblement à la même température, et ce qui prouve que la différence des températures, si elle existe, est sans influence sur le phénomène, c'est que, au moment où l'on change le sens de la décharge, on reconnaît que la distillation se manifeste bien avant que le passage de l'électricité ait pu intervertir l'ordre des températures des deux couches liquides.

On observe du reste un phénomène curieux si l'on a fait le vide dans l'appareil de manière à n'y laisser que la vapeur du liquide, de l'eau par exemple, avec la tension qui correspond à la température ambiante. Lorsqu'on fait passer la décharge de l'extérieur à l'intérieur, la région du tube étroit située au-dessus du niveau du liquide devient incandescente, tandis qu'on ne voit pas à l'extérieur d'incandescence bien prononcée; la température à l'intérieur du tube central est manifestement plus élevée qu'à l'extérieur, et cependant le niveau monte dans ce tube par suite de l'arrivée du liquide extérieur.

2° J'ai voulu me rendre compte des variations de température produites dans les deux couches liquides par le passage de la décharge, et, à cet effet, j'ai introduit aux extrémités d'un tube en U renversé les réservoirs de deux thermomètres très sensibles baignés par le liquide traversé par l'électricité. J'ai reconnu que, lorsque l'appareil contenait, outre le liquide, un gaz sous la pression atmosphérique, les températures des deux couches liquides s'élevaient simultanément sans présenter une différence de température de $\frac{1}{10}$ de degré; quand le vide était fait dans l'appareil, j'ai constaté plusieurs fois des différences, toujours faibles, mais c'est le thermomètre négatif qui m'a paru un peu plus élevé que le positif.

3° Enfin, j'ai recherché par des expériences directes quelle serait l'influence d'une élévation de la température sur la distillation. A cet effet, j'ai maintenu l'une des branches d'un tube coudé à une température supérieure de 5°, 10°, 15°, 20° à celle de l'autre branche et j'ai constaté que, pendant le temps que duraient les expériences ordinaires, la variation de niveau que l'on observait était tellement petite par rapport à celle qui résultait de l'influence de l'électricité, qu'on pouvait la considérer comme nulle.

Du reste, on provoquait toujours la distillation de la branche la plus froide à la branche la plus chaude en faisant arriver par la première l'électricité positive.

Il est donc établi par ce qui précède que, sous l'influence de l'électricité statique, il y a passage des liquides de la région positive des vases à la région négative, et que cette distillation ne résulte nullement de l'échauffement inégal des deux couches liquides, traversées par l'électricité.

J'ai reconnu que la quantité de liquide transportée est proportionnelle à la quantité d'électricité mise en jeu et qu'elle ne dépend pas sensiblement de la grandeur de la surface libre du liquide : ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, il passe autant de liquide quand la surface du liquide traversé par l'électricité positive est cent fois plus grande que celle du liquide négatif, que lorsqu'on fait arriver l'électricité positive dans le liquide dont la surface libre est cent fois plus petite que l'autre.

Ce dernier résultat semble indiquer que le phénomène n'est pas une distillation ordinaire, c'est-à-dire une vaporisation du liquide suivie d'une condensation de la vapeur. Voici des expériences qui permettent de pénétrer plus avant dans son étude.

1° Supposons que dans les appareils que j'ai décrits, séchés préalablement, on introduise de l'eau distillée à la partie inférieure des tubes seulement et sans mouiller leurs parois internes au-dessus de la surface liquide, puis que l'on fasse passer la décharge à la manière ordinaire ; on constate que peu à peu, dans une région voisine de la surface du liquide, la paroi se mouille sur une hauteur de quelques millimètres seulement, et l'on reconnaît que, tant que cette région mouillée ne s'étend pas sans discontinuité d'une surface liquide à l'autre, il n'y a pas de distillation facilement appréciable.

2° Si l'on couvre la surface des tubes qui continue la paroi baignée de liquide d'une couche mince d'une substance qui ne permette pas au liquide de mouiller la paroi, telle que la stéarine, la paraffine, etc., dans le cas où l'on opère sur l'eau distillée, on reconnaît que la distillation, considérablement ralentie, peut être tout à fait supprimée; elle se manifeste de nouveau, au contraire, si l'on dissout la substance et qu'on lave les parois jusqu'à ce qu'elles soient mouillées par le liquide.

3° Il résulte de ce qui précède que le liquide ne peut passer d'une région de l'appareil à l'autre qu'autant qu'il peut mouiller la portion de paroi qui les sépare. Le phénomène est donc surtout un transport de liquide produit le long des parois sous l'influence de l'arrivée de l'électricité positive. On peut s'assurer de l'exactitude de cette interprétation en soumettant à l'expérience des liquides convenablement choisis. Avec de l'eau distillée, si l'on fait usage d'appareils très propres, ou, plus facilement, avec de l'eau distillée additionnée de 20 à 50 pour 100 d'alcool, on voit naître de la surface du liquide positif de nombreux filets liquides très déliés qui s'élèvent vers le liquide négatif en formant une multitude de petits courants qui ne laissent aucun doute sur le chemin suivi par le liquide sous l'influence de l'électricité.

4° On peut se demander si, indépendamment de ce transport du liquide le long des parois, il n'y a pas entraînement de vapeurs qui, prenant naissance à la surface liquide positive, viendraient se condenser à la surface négative. Voici comment on peut essayer de séparer les effets dus à ces deux causes. On prend une cornue de verre dont on ramollit le fond à la lampe de manière à y souder un fil de platine; on y introduit de l'eau distillée; suivant l'axe du col de la cornue, on dispose un tube graissé extérieurement, ouvert à une extrémité, fermé à l'autre et traversé par un fil de platine soudé ; on ajuste ce tube de manière que la surface libre de l'eau qu'il contient soit à une distance de la surface du liquide de la cornue qui permette à la décharge de passer facilement. Dans ces conditions, si l'on amène l'électricité positive par le fond de la cornue, le liquide distille, mais il s'accumule dans la région comprise entre le tube et le col de la cornue. En prolongeant suffisamment l'expérience, on fait passer ainsi des quantités de liquide très grandes, tandis que le liquide contenu dans le tube néga-

tif n'éprouve qu'une élévation de niveau extrêmement faible.

Il résulte de ce qui précède que la distillation constatée est presque exclusivement un transport de liquide effectué sous l'influence de l'électricité le long des parois conductrices des appareils.

De là l'explication d'un certain nombre de faits intéressants. Je citerai seulement l'expérience suivante. Dans un tube de verre coudé à branches très inégales, on met deux colonnes liquides d'eau distillée par exemple ; après avoir mouillé le tube on fait passer la décharge, et l'on constate le passage du liquide de la branche positive à la branche négative ; vient-on à enlever une certaine quantité de liquide dans la branche négative, de manière à augmenter la distance des deux surfaces liquides entre lesquelles jaillit la décharge, on reconnaît que, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité de liquide transportée est la même, que la distance soit $0^m,12$, $0^m,34$, $0^m,45$, $0^m,54$ et même $0^m,60$; la décharge passe facilement même dans ce dernier cas, bien que la limite d'écartement des conducteurs entre lesquels elle jaillit dans l'air soit beaucoup moindre.

Le mécanisme du phénomène étant bien constaté, j'ai recherché comment se comporteraient les divers liquides, et voici quelques-uns des résultats de cette étude.

1° Bien que le transport des liquides ne se produise qu'à la condition que la paroi des vases soit mouillée, je n'ai pas trouvé de relation entre les quantités de liquides entraînées, toutes choses égales d'ailleurs, et les constantes capillaires de ces liquides.

2° Il y a une certaine concordance entre le sens suivant lequel varie le phénomène et la conductibilité des liquides. Sans doute la distillation n'a pas lieu si le liquide est très mauvais conducteur, comme les chlorure et sulfure de carbone, le chloroforme et l'essence de térébenthine ; mais, lorsque la décharge passe, le transport est d'autant plus abondant que le liquide est moins bon conducteur. Ainsi, l'eau distillée additionnée d'alcool est transportée plus abondamment que l'eau pure ; le transport de l'alcool du vin peut être cinq ou six fois plus rapide que celui de l'eau distillée. D'un autre côté, l'addition à l'eau pure ou à l'alcool de substances qui changent la conductibilité de ces liquides a pour effet d'affaiblir très rapidement la quantité de liquide transportée. C'est ainsi

qu'en ajoutant à l'eau distillée quelques gouttes d'un acide tel que les acides sulfurique, azotique, chlorhydrique, etc., en quantité assez faible pour que ni la densité ni la température d'ébullition n'éprouvent de modifications sensibles, on constate que la vitesse de transport de ces liquides est réduite à une fraction de sa valeur souvent inférieure à $\frac{1}{50}$. Les alcalis, tels que la potasse, la soude ou l'ammoniaque, employés en quantités très faibles, produisent le même effet. Il en est de même des solutions salines neutres, telles que celles de sulfate de soude : par exemple, l'addition à l'eau distillée de quelques centièmes d'une solution saturée de chlorhydrate d'ammoniaque réduit la quantité de liquide distillée à moins de $\frac{1}{30}$ de sa valeur. De là l'explication des effets différents que l'on observe dans des tubes formés de diverses espèces de verre, et qui tiennent à la dissolution dans l'eau distillée d'une petite quantité d'alcali suffisante pour modifier profondément la vitesse de transport du liquide.

3° J'ajouterai cependant que, si l'on soumet à l'action de la décharge un mélange homogène de deux liquides, l'action de l'électricité détermine une séparation partielle des deux liquides, qui distillent en proportions qui ne sont en rapport ni avec la volatilité ni avec la conductibilité de la substance. C'est ainsi que, en opérant sur des mélanges d'alcool et d'eau, on obtient par entraînement électrique un liquide moins riche en alcool que le résidu.

Sur l'inscription des phénomènes météorologiques, en particulier de l'électricité et de la pression; par M. Mascart.

1. L'utilité des appareils inscripteurs pour l'observation continue des phénomènes météorologiques n'a plus besoin d'être démontrée aujourd'hui. Les instruments de cette nature se multiplient dans les observatoires ; il y aura bientôt dans chaque pays un certain nombre de stations principales où les phénomènes les plus importants seront recueillis par des enregistreurs, et l'examen ultérieur des résultats ainsi obtenus sera sans doute l'origine de progrès nouveaux dans la Science.

L'inscription des phénomènes n'a pas seulement pour but de

diminuer le travail des observateurs : elle a une portée scientifique plus élevée. Aucune modification permanente ne paraît s'être manifestée depuis un grand nombre de siècles dans la Physique du globe ; on peut donc estimer, d'un point de vue général, que tous les phénomènes météorologiques sont soumis à des variations régulières et peuvent être représentés, comme les marées, par une série de termes périodiques. La continuité dans les observations de jour et de nuit paraît nécessaire si l'on veut déterminer par expérience les différents termes qui les représentent.

D'ailleurs, certains phénomènes sont par leur nature tellement variables, que des observations discontinues, à moins d'être extrêmement rapprochées, n'en peuvent donner une idée exacte. Tel est le cas de l'électricité atmosphérique, à peu près en tout temps, et celui du magnétisme terrestre pendant les aurores boréales. Et même pour les autres éléments dont la marche est plus régulière, comme la température, l'humidité de l'air et la pression, on constate dans les tracés graphiques des variations accidentelles très intéressantes, que les lectures directes à intervalles un peu éloignés ne permettraient pas de soupçonner.

Parmi les appareils inscripteurs, les uns suivent les phénomènes sans discontinuité et en traduisent tous les détails ; les autres opèrent par intermittences plus ou moins rapprochées. Les inscripteurs continus sont évidemment préférables au point de vue théorique. Jusqu'ici cependant on a employé un grand nombre d'appareils à indications intermittentes, parce qu'il est possible de les réaliser par de simples dispositions mécaniques. Pour les tracés continus, on a eu généralement recours à la photographie ; mais cette méthode exige une installation spéciale dans une chambre obscure, des manipulations chimiques et une assez grande dépense d'éclairage et de produits.

La photographie elle-même n'est pas aussi fidèle qu'on pourrait le croire au premier abord. Pour différents motifs, sur lesquels il n'est pas nécessaire d'insister, on est obligé d'employer des papiers peu sensibles à la lumière, et l'image de la flamme qui doit laisser son empreinte a toujours d'assez grandes dimensions. Les courbes marquées par ces impressions sur le papier ne présentent pas la netteté d'un trait de crayon ; elles sont larges, un peu baveuses, et manquent même tout à fait dès que l'image se déplace

rapidement. C'est un défaut que l'on constate d'une manière très fréquente dans les courbes d'électricité atmosphérique et qui se manifeste souvent aussi, dans les grandes perturbations du magnétisme terrestre, sur les tracés des boussoles.

Les inscripteurs mécaniques, en permettant d'obtenir des courbes plus fines au moyen de crayons ordinaires ou de pointes de métal, ou encore de pointes légères glissant sur une feuille de papier enfumé, peuvent donc fournir des résultats plus exacts, quand même ils ne traduiraient les phénomènes que par intermittences, pourvu que celles-ci soient assez rapprochées. A plus forte raison ces appareils seront-ils préférables s'ils fonctionnent d'une manière continue, condition que réalise déjà le baromètre si ingénieux de M. Redier.

Sans prétendre, par ces considérations un peu générales, porter un jugement sur les différents systèmes d'inscription, je donnerai comme exemples quelques-uns des résultats que j'ai obtenus avec l'électromètre inscripteur et quelques remarques sur les variations accidentelles de la pression atmosphérique.

2. L'instrument dont je me suis servi pour l'étude de l'électricité atmosphérique se compose essentiellement d'un électromètre de sir W. Thomson, en relation avec un vase à écoulement d'eau continu. Les déviations de l'aiguille sont transmises toutes les deux minutes et demie à un crayon qui les traduit sur une feuille de papier; l'ensemble de ces tracés produit une courbe, non pas absolument continue, mais composée de petits escaliers très rapprochés.

L'appareil a été mis en fonction au Collège de France, à la fin de février 1879, et les courbes obtenues régulièrement depuis cette époque permettent déjà de se faire une idée de la marche des phénomènes pendant les cinq mois qui ont suivi.

On peut remarquer d'abord que le potentiel de l'air est en général positif, avec des variations plus ou moins rapides. Par les temps couverts, les courbes deviennent plus agitées; la pluie donne presque toujours de très grandes déviations négatives. Le changement de signe se manifeste avant le début de la pluie, et quelquefois aussi la pluie est suivie immédiatement d'indications positives très élevées. Il s'est montré aussi quelques exemples

très rares soit de pluies positives, soit de grandes déviations négatives sans pluie apparente au voisinage de l'observateur. Cette prédominance de l'électricité négative dans les nuages pluvieux que j'ai déjà signalée me paraît un fait important dans la question de l'origine de l'électricité atmosphérique.

Si l'on néglige les variations accidentelles et qu'on examine la marche des courbes dans leur ensemble, on est frappé de cette circonstance que l'électricité est beaucoup plus uniforme la nuit et plus variable dans la journée. Le potentiel est même notablement plus élevé la nuit que le jour. Le maximum paraît avoir lieu vers 9^h ou 10^h du soir; la courbe descend lentement jusque vers 6^h du matin, puis plus rapidement, atteint un minimum vers 3^h du soir et remonte ensuite d'une manière à peu près uniforme. Cette conclusion, que l'on peut formuler par le simple aspect des courbes, se justifie dans les tableaux numériques. J'ai fait d'abord des moyennes mensuelles pour huit observations trihoraires, en écartant du calcul des moyennes les observations faites pendant la pluie et même toutes les lectures qui donnaient de l'électricité négative. J'ai obtenu ainsi, en prenant une unité arbitraire :

	Minuit.	3h.	6h.	9h.	Midi.	3h.	6h.	9h.	Minuit.
Mars..........	24,7	19,2	19,1	13,6	14,5	14,9	21,2	27,1	24,7
Avril..........	24	23,7	24,0	16,0	17,0	13,3	28,5	26,0	24
Mai...........	24,5	23,3	26,0	20,7	13,8	15,4	15,4	24,5	24,5
Juin..........	26,7	25,5	25,4	17,6	14,6	12,0	18,4	25,0	26,7
Juillet.........	33,3	34,5	33,7	28,8	26,7	23,6	29,3	36,1	33,3
Moyenne......	26,6	25,2	25,6	19,3	17,3	15,8	20,5	27,7	26,6
Moyenne totale.	26,6	25,2	24,6	15,0	12,7	9,8	13,2	26,9	26,6

Les variations sont naturellement plus régulières dans la moyenne des cinq mois que pour chacun d'eux en particulier. Dans la dernière ligne du Tableau, on a tenu compte aussi des indications négatives, à l'exception toutefois de celles qui correspondaient aux chutes de pluie, qu'il faut évidemment mettre à part; la moyenne totale ainsi calculée exagère encore le sens du phénomène et met mieux en évidence le minimum de 3^h du soir et le maximum de 9^h, ou plus exactement le maximum continu de la nuit.

Ces résultats, je dois le reconnaître, sont en contradiction avec les idées généralement adoptées. Ainsi, M. Quetelet a déduit de plusieurs années d'observation à Bruxelles que l'électricité atmo-

sphérique présente deux maxima, le matin et le soir, et deux minima, l'un dans la journée et l'autre dans la nuit. Les observations publiées récemment par le P. Denza l'ont conduit aux mêmes conclusions; mais le minimum de la nuit a été en général plutôt établi par induction que déterminé directement, parce que l'emploi d'appareils non inscripteurs n'a guère permis de suivre les phénomènes d'une manière continue.

Toutefois, ce minimum de la nuit a été constaté à l'observatoire de Kew, à l'aide d'un enregistreur photographique de sir W. Thomson. Dans le Rapport du Conseil météorologique publié en 1878, M. Everett a publié un résumé horaire de tous les résultats obtenus pendant deux années consécutives, du 1er juin 1862 au 1er juin 1864. Les tableaux numériques et les courbes qui les traduisent indiquent bien dans les moyennes mensuelles et dans les moyennes annuelles deux maxima et deux minima, analogues à ceux qu'avait signalés Quetelet, et dont l'heure est un peu variable avec les différentes saisons. Les observations que je viens de rapporter sont donc en complet désaccord avec les observations antérieures.

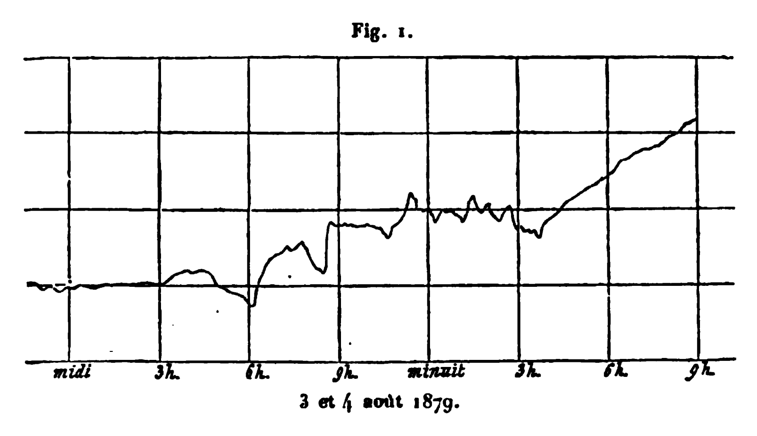
Le maximum continu d'électricité positive que j'ai constaté pendant la nuit comme moyenne des observations faites pendant les cinq derniers mois est peut-être un phénomène exceptionnel, dû aux conditions tout à fait anomales de la saison que nous venons de traverser. Il y aura lieu de chercher si les mêmes effets se sont manifestés à l'électromètre inscripteur de Kew et si de nouvelles observations à Paris les contredisent ou les confirment.

Mais, avant de quitter ce sujet, j'insisterai encore sur une circonstance qui me paraît avoir été souvent trop négligée. Dans un appareil quelconque destiné à l'observation continue de l'électricité atmosphérique, il y a un organe spécial, mèche de Volta ou veine liquide de sir W. Thomson, qui fait fonction de source électrique et qui tend à maintenir sur l'instrument le potentiel de l'air au point où se détachent les particules conductrices de gaz chaud ou de liquide. Mais, en même temps, tous les supports que l'on peut employer pour isoler l'électromètre, la mèche ou le vase à écoulement et les fils de communication, ne remplissent pas ce rôle d'une manière absolue. Le débit d'électricité que peut fournir une veine liquide est limité par le nombre et la capacité des gouttes qui se détachent ; si l'isolement des supports est trop imparfait et

s'il dépend surtout des conditions atmosphériques, le potentiel atteint par l'électromètre ne sera à chaque instant qu'une fraction variable et inconnue du potentiel maximum. Cette cause d'erreur peut modifier complètement les résultats des observations.

3. Je dirai quelques mots maintenant des petites variations du baromètre. Tous les météorologistes qui emploient le baromètre inscripteur de M. Redier ont eu l'occasion de constater les brusques changements de pression qui se manifestent au moment des orages. Ce phénomène paraît avoir été signalé pour la première fois par M. l'abbé Goulon (*Bulletin international de l'Observatoire de Paris,* 21 mars 1866); mais c'est à M. Redier que l'on doit réellement de l'avoir mis bien en évidence.

Fig. 1.



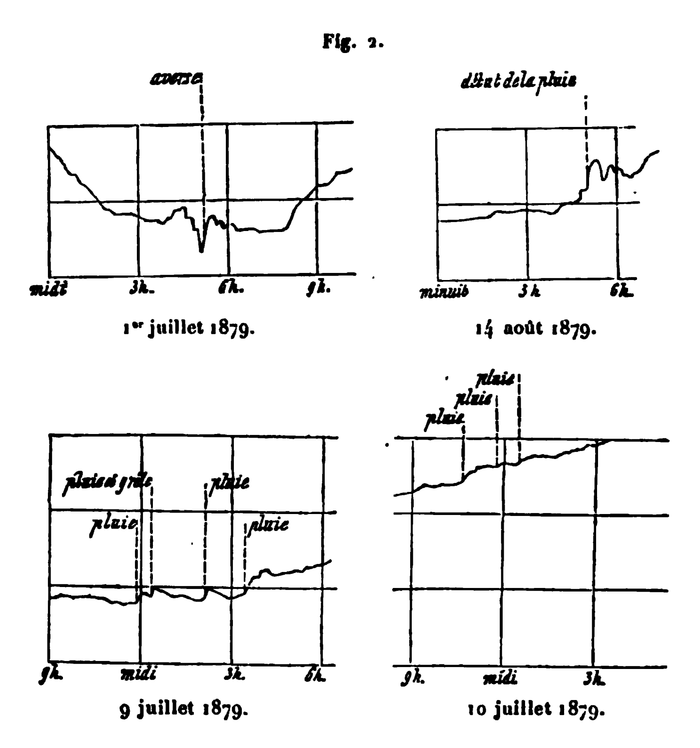
3 et 4 août 1879.

Au moment d'un orage, le baromètre baisse d'abord d'une manière assez rapide, puis remonte brusquement : cet effet se traduit sur la courbe par une sorte de V unique ou plus rarement par une série d'oscillations plus ou moins régulières. Nous donnons ici (*fig.* 1) comme exemple de variations exceptionnelles la courbe du baromètre, à Paris et au Parc Saint-Maur, pendant l'orage qui s'est manifesté dans la nuit du 3 au 4 août dernier (la distance de deux lignes horizontales correspond à une variation de pression de 2^{mm} de mercure). On a cherché quelquefois à faire intervenir les actions électriques dans ces changements de pression, mais il est probable que la cause en est beaucoup plus simple.

La *fig.* 2 renferme les calques d'un certain nombre de frag-

ments de la courbe tracée par un baromètre inscripteur, à Paris, pendant les mois de juillet et d'août 1879, à des heures où je me trouvais auprès de l'appareil et où je pouvais noter au moment même le début de chaque pluie. L'examen de ces courbes met en évidence une relation très simple : *le baromètre monte dès que la pluie commence.* Toutefois, il faut bien remarquer que cette règle n'est pas générale ; elle ne se vérifie pas si le ciel est tout à fait couvert et si la pluie est fréquente et abondante, mais seulement lorsque le ciel est parcouru par des nuages isolés et qu'il se produit par intervalles des averses suivies d'éclaircies.

Fig. 2.



1er juillet 1879.

14 août 1879.

9 juillet 1879.

10 juillet 1879.

La cause de ces changements rapides de pression paraît très simple. Dans les circonstances que j'ai indiquées, l'état hygrométrique de l'air n'est pas très élevé. La pluie qui tombe d'un nuage traversant un espace non saturé s'évapore en partie et cette vapeur, développée sur place, donne lieu à un accroissement local de la pression, accroissement très faible en général, mais qui peut dans

certaines pluies d'orage atteindre 2^{mm} de mercure. L'influence d'une grande quantité de vapeur produite brusquement en un point suffit pour amener une pareille variation.

La diminution de pression qui se manifeste pendant les orages peut s'expliquer par un phénomène inverse. Tout le monde a pu remarquer en effet que les nuages orageux se forment sur place; sans chercher les causes qui provoquent cette condensation, où l'état électrique de l'air et peut-être l'ozone jouent sans doute un rôle important, il est certain qu'elle a lieu très rapidement, et le passage d'une certaine quantité d'eau de l'état de vapeur à l'état de gouttelettes doit donner lieu à une diminution de la pression. On constate d'ailleurs sur les courbes que la chute de pression se fait généralement d'une manière plus lente et à différentes reprises, tandis que l'accroissement est beaucoup plus brusque.

Enfin, si l'on réfléchit que l'accroissement de pression en un point peut être produit par une pluie qui tombe à une certaine distance, et que dans l'air lui-même il peut se manifester des condensations et des évaporations partielles de nuages, on verra que le changement d'état de l'eau atmosphérique permet de rendre compte de toutes les bizarreries que présentent les variations de la pression en temps d'orage. C'est une idée que je soumets à l'examen des météorologistes pour appeler leur attention sur ce point; on constate des effets analogues au moment où les brouillards se condensent ou se dissipent, et peut-être qu'en suivant de plus près ces phénomènes si curieux on pourra mieux en déterminer le mécanisme.

Phénomènes dits hydro-électriques et hydromagnétiques; théorèmes fondamentaux et leur constatation expérimentale; par M. C.-A. Bjerknes, professeur à l'Université de Christiania.

Au moyen de *vibrations isochrones* de corps sphériques voisins enfermés dans un fluide incompressible, il se produit entre ces corps (comme l'a montré la résolution mathématique d'un problème d'Hydrodynamique) des forces apparentes, attractives ou répulsives, comparables à celles qui se manifestent entre des corps

chargés d'électricité ou entre des aimants. J'ai même obtenu de cette manière une sorte d'*électromagnétisme,* auquel on ne connaît cependant rien d'analogue dans la nature.

Pour éviter les longueurs dans les explications et pouvoir les émettre aussi avec plus de clarté, j'ai cru devoir donner un nom distinct à ces nouveaux phénomènes. Je les désignerai ainsi comme une *hydro-électricité,* un *hydromagnétisme,* etc. Mais, abrégeant ensuite et sous-entendant qu'il ne s'agit pas réellement de phénomènes d'électricité et de magnétisme, je parlerai souvent dans ce qui va suivre, sans nuire, à ce que je pense, à la netteté de l'idée d'aimants au lieu d'hydroaimants, de masses électriques au lieu de masses hydro-électriques, et ainsi de suite.

Voici en quoi consistent maintenant les faits principaux. Une *sphère pulsante*, qui se dilate et se contracte périodiquement, se comporte comme un *pôle magnétique* ou comme une *masse électrique;* une *sphère oscillante* se comporte comme un *aimant*. Toutefois, il y a une *inversion* à faire dont je parlerai plus tard. La sphère pulsante doit être conçue comme un pôle nord ou bien comme une masse électrique positive lorsque son volume augmente. Le pôle est concentré au centre, la masse électrique répandue sur la surface moyenne. Inversement, la sphère pulsante doit être conçue comme un pôle sud ou une masse électrique négative quand le volume diminue. L'*hydro-aimant,* représenté par la *sphère oscillante,* contient deux pôles opposés : le pôle nord, du côté vers lequel le mouvement oscillatoire est dirigé; le pôle sud, du côté des lieux quittés. L'orientation du sud vers le nord est donc la même que la direction de la vitesse oscillatoire, et elle changera avec elle régulièrement.

Maintenant, si, pour simplifier, nous ne considérons que les *vibrations isochrones* de deux sphères voisines, et que ces mouvements aient toujours simultanément ou les mêmes phases ou des phases contraires, les vitesses vibratoires changeront de direction en même temps, ce qui revient au même que s'il n'y avait aucun changement. Alors on peut fixer convenablement le temps initial et supposer que désormais un pôle nord doit rester à jamais nord, un pôle sud à jamais sud. Le corps électrique gardera par suite son espèce, l'aimant avec ses deux pôles opposés son orientation, et, pourvu que l'on admette qu'on passe aux effets moyens dans

le cours d'une période commune, on peut même considérer les intensités comme étant constantes.

Toutefois, quoiqu'on ait une analogie d'ailleurs complète entre les phénomènes dont nous nous occupons et ceux avec lesquels on les compare, le calcul montre une différence essentielle à signaler. Ici, il faut généralement admettre que les pôles et aussi que les masses électriques du même nom (nord, sud) s'attirent, que ceux du nom opposé se repoussent. En d'autres termes, ce nouveau genre d'électricité et de magnétisme est d'une espèce inverse. Les pôles magnétiques étant de plus, dans la théorie présente, équivalents à des masses électriques, on aura encore une action entre les nouveaux aimants et lesdites masses, d'où un *électromagnétisme* dont on ne connaît pas l'équivalent dans la nature. L'électricité dont il s'agit n'est, en effet, qu'une électricité statique, et, si l'on parlait autrement d'une action entre des aimants et des pôles magnétiques, on aurait bien des analogies connues; mais alors la difficulté ne ferait que changer, puisqu'on devrait avoir, dans le cas des phénomènes naturels, des masses magnétiques polaires isolées : ce qui n'est pas.

Ces principes ont été trouvés en résolvant, dans les années 1868 et 1870, un problème d'hydrodynamique sur le mouvement de plusieurs sphères variables dans un fluide incompressible, et en tirant de là, en 1875, quelques nouvelles conséquences. J'ai poursuivi la vérification expérimentale surtout depuis l'été de cette dernière année, d'abord seul, chez moi, avec des moyens naturellement bien limités, plus tard aidé, de temps en temps, par un physicien disposant d'un laboratoire, M. Schiötz, un de mes collègues à l'Université de Christiania, et à la fin en employant aussi un habile assistant, M. Svendsen. Une certaine part dans la réussite de mon entreprise expérimentale, en particulier dans beaucoup d'essais préalables ou provisoires, est due aussi à mon fils, le jeune homme qui m'assiste à cette séance. Quant aux détails techniques, en construisant des instruments plus ou moins provisoires ou complets, je les ai laissés ordinairement à mon collaborateur, M. Schiötz, et à notre assistant, M. Svendsen. Au premier j'ai demandé aussi, pour un Mémoire étendu que je prépare, une description circonstanciée des instruments, n'en donnant moi-même qu'une esquisse contenant ce qu'il est le plus nécessaire de

connaître. Les principes de construction dont nous nous sommes servis pour résoudre ces problèmes expérimentaux, posés par les théorèmes hydrodynamiques, ont été trouvés successivement dans le cours de mes premiers essais, et encore plus, peut-être, par des efforts réunis dans les travaux communs.

Les appareils que je présente à la Société, et avec lesquels j'ai l'honneur de faire aussi une série complète d'expériences, sont au nombre de six, mais ils se réduisent en quelque sorte à quatre. Je les appellerai :

I. L'appareil de pulsations (P);

II. Les appareils d'oscillations (O_c, O_n, O_r);

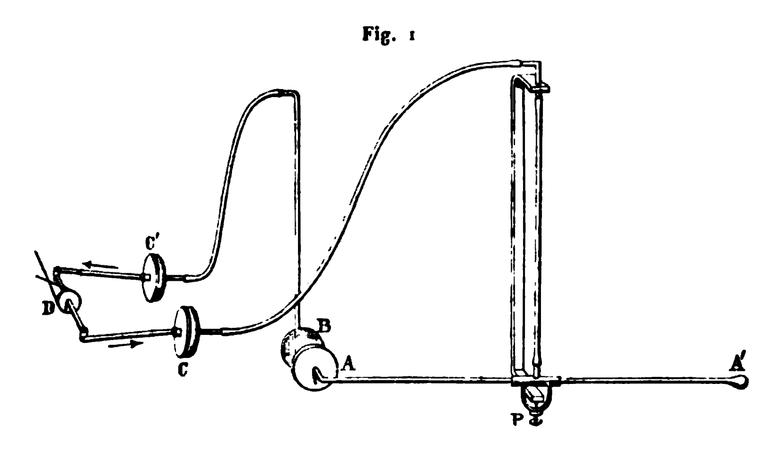
III. Les appareils mixtes (M_r, M_r).

Les derniers se rapportent à la combinaison des mouvements oscillatoires et des pulsations. Les trois appareils de la deuxième classe sont de plus : 1° l'appareil des actions centrales, O_c ; 2° des déplacements normaux (relativement à la centrale), O_n ; 3° de la rotation, O_r. Enfin les deux appareils mixtes, qui peuvent s'établir, du reste, par quelques remplacements très faciles à effectuer avec les précédents O_n et O_r, comprennent les suivants : 1° l'appareil des actions linéaires, soit qu'elles consistent en des actions centrales ou en d'autres qui sont normales, M_r, et 2°, en dernier lieu, celui des phénomènes rotatoires, M_r.

I. *Pulsations vers pulsations* (P). — J'ai donc fait voir d'abord l'action toujours centrale entre deux corps pulsants, c'est-à-dire qui se dilatent et se contractent périodiquement. Ici, comme partout, les vibrations doivent être *isochrones*. Ces pulsations simultanées donnent lieu à des forces agissant inversement aux carrés des distances. L'attraction aura lieu alors pour des pulsations concordantes, la répulsion, au contraire, si elles sont opposées. On a ainsi des *phénomènes analogues aux phénomènes électriques* ou à un *magnétisme polaire;* mais toujours on aura une *inversion* à faire, puisqu'ici les électricités ou les pôles magnétiques du même nom exerceront une attraction, celles du nom opposé une répulsion. Il y a même, dans cette théorie, une équivalence déterminée entre ces phénomènes *hydro-électriques* et ceux qui se rapportent aux *actions des pôles* dans les corps que nous avions appelés des *hydro-aimants*.

Un levier creux AA′ (*fig.* 1) peut se mouvoir avec la plus grande facilité autour de son point d'appui, dans un plan horizontal. Il est terminé par un tambour A fermé par une membrane très élastique et formant le corps pulsant. Le même levier est porté par un tuyau de caoutchouc T, fixé plus haut et légèrement tendu, et il communique avec lui, en sorte qu'un courant d'air, en entrant et en sortant alternativement, puisse produire les pulsations demandées ([1]). Celles-ci se feront alors sans occasionner aucun mouvement horizontal.

Fig. 1



Pour les effectuer, on se sert d'une pompe construite d'après le même principe du tambour C, en attachant à la membrane, avec de la cire à cacheter, un piston mis en mouvement par une roue tournante D. Le corps pulsant se déplacera maintenant très aisément, pour peu que des forces convenablement dirigées commencent à agir; mais toujours il restera en repos tant qu'il ne subit d'autres actions que celles qui provoquent ses pulsations. Avec des moyens analogues, mais plus simples, on aura encore le second corps pulsant B, et on le met en communication avec une nouvelle pompe fonctionnant comme la première. Pour montrer les phénomènes, on approche B tenu avec la main, et l'on aura bien tous les effets qu'on cherche, selon la disposition donnée

([1]) Je me sers, pour plus de commodité dans les expériences, d'un cylindre pulsant au lieu d'une sphère pulsante; les résultats seront alors les mêmes quant à la partie principale de l'action.

aux manivelles. Ces manivelles appartiennent respectivement à l'une ou à l'autre des deux pompes agissantes.

II. *Oscillations vers oscillations* (O_c, O_n, O_r). — Les phénomènes magnétiques, ou plus précisément *hydromagnétiques*, sont beaucoup plus nombreux. Ils naissent, comme nous venons de le dire, d'une tout autre sorte de vibrations : d'*oscillations rectilignes*. Au moyen des trois appareils O_c, O_n, O_r, on fait voir les actions principales qui se présentent alors.

Les lignes décrites par les centres des sphères oscillantes, par conséquent aussi *les axes des aimants*, peuvent avoir maintenant plusieurs positions relatives, et chacune d'elles donne lieu à des mouvements d'un caractère distinct. De là, le grand nombre de phénomènes qui naissent. Nous allons énumérer plus bas tous ceux qu'on doit considérer comme principaux et indiquer ensuite quels sont les effets qui en résultent.

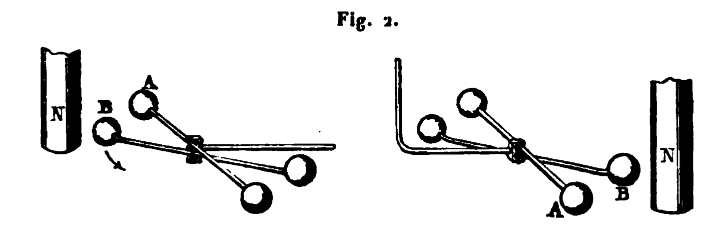
D'abord, on aura les *actions centrales*, qu'on étudiera au moyen de O_c. On voit, conformément aux théories hydrodynamiques, que des aimants, s'ils sont placés *longitudinalement* l'un à la suite de l'autre, doivent se repousser ou s'attirer selon qu'ils sont dirigés dans le même sens ou dans le sens opposés. Si les mêmes aimants sont parallèles, c'est ceux d'une orientation pareille qui s'attireront; ceux, au contraire, qui sont dirigés en sens opposés se repoussent. Avec des aimants naturels, c'est évidemment l'inverse qui aura lieu. Enfin les aimants ou bien les hydro-aimants dont il s'agit pourraient avoir aussi une autre position qu'il appartient d'étudier ici, position que nous convenons de nommer *normale-transversale*. Les axes magnétiques seront alors non seulement perpendiculaires à la ligne centrale, ce qui constituera la transversalité, mais ils seront encore perpendiculaires entre eux. Au moyen de la théorie, on se convaincra facilement que, pour cette nouvelle position, la force centrale s'annulera.

L'appareil nous montre bien ces résultats. On remarquera cependant que toujours, quand tout est bien arrangé, on aura, dans le dernier cas, une faible attraction au lieu d'une neutralité complète. Mais cette attraction se perd très vite avec les distances croissantes, puisqu'elle appartient à ces forces de degrés supérieurs que nous avons ici négligées. Cette dernière expérience montrant

la neutralité avec la modification que nous venons d'ajouter, nous avons omis de l'exécuter dans la séance, pour ne plus déranger une certaine partie de notre appareil. Nous avons repris et montré cette expérience plus tard à diverses occasions.

Quant au principe de la construction de cet appareil, il peut être expliqué en peu de mots. On a un levier qui peut tourner avec la plus grande facilité autour d'un axe vertical. Aux boutts sont placées deux sphères A et B (*fig.* 2), qui seront mises en oscilla-

Fig. 2.



tion ou par un mouvement oscillatoire et vertical, qu'on donne à toute la balance, ou par un mouvement oscillatoire et horizontal, perpendiculaire à la direction de cette dernière. Ces mouvements communiqués ne produiront pas des mouvements continus dans le même sens; plutôt, la balance sera moyennement en repos. Cependant, on pourrait craindre quelquefois une instabilité excessive, ou bien une tendance prononcée à prendre des positions stables qui diffèrent trop des positions de départ quand on veut exécuter une expérience. Pour remédier à cela, on peut s'arranger de manières diverses : par de petits abaissements et relèvements, on corrige l'état d'équilibre; on donne à la balance une position légèrement oblique dans un plan vertical; ou enfin, ce qui est le plus commode, on se sert des aimants n'agissant sur les bras de ladite balance, les bras étant, de cette raison, de fer. A côté de la balance assujettie à pouvoir tourner autour d'un axe vertical on en aura encore une autre qui peut bien osciller, mais qui ne tourne point; et cette dernière, un peu courbée et pourvue aussi avec des boules fixées aux bouts, est placée de manière à croiser la première.

Un troisième appareil, O_n, montrera *les déplacements normalement à la ligne centrale,* lesquels déplacements se produiront lorsque l'un des aimants est longitudinalement et l'autre plantransversalement placé. Si le dernier est empêché de tourner.

il se déplacera en effet normalement à cette ligne centrale; mais cela ne sera que d'un chemin petit, comme on peut se convaincre d'après la théorie comme d'après l'expérience. Le phénomène est naturellement encore opposé à celui des aimants naturels dans le cas de positions analogues. Quant à la manière d'effectuer cette nouvelle expérience, nous n'en dirons rien; car on se servira du même principe qu'auparavant.

Enfin les hydro-aimants peuvent avoir des positions telles qu'il en résulte des *rotations*. Lorsqu'en effet on fait en sorte que l'une des sphères oscille *longitudinalement* et l'autre *plan-transversalement*, alors, si l'on ne permet à la dernière que de changer de direction, le centre des oscillations restant fixe, ce changement s'effectuera et l'on aura de nouveau les mêmes mouvements, mais en sens inverse, comme pour les aimants naturels. On obtiendra les mouvements contraires correspondant à des positions parallèles aux anciennes si les nouveaux aimants dont nous parlons sont *normal-transversalement* placés. Dans tous les cas, du reste, le mouvement rotatoire est tellement dirigé, qu'il tend à amener le corps tournant dans la position de la plus grande attraction.

L'expérience montrée par un quatrième appareil, O_r, consiste en ceci. On a un cadre rectangulaire, verticalement placé, qui peut se tourner avec la plus grande facilité autour d'un axe vertical. Dans le même niveau et de côtés opposés du cadre, il passe une tige horizontale, qui a ainsi une position parallèle aux côtés horizontaux. Cette tige, portant dans son milieu une sphère dont elle traverse le centre, peut être mise dans un mouvement longitudinal et alternatif. Au moyen d'un simple mécanisme, pourvu d'un ressort réagissant, un mouvement semblable d'une tige verticale, auquel donne lieu la rotation primordiale d'une roue, sera transféré au premier, et de cet échange de mouvements il résultera des oscillations pour la sphère fixée en tige horizontale. Ces oscillations n'auront de plus aucune influence pour faire tourner le cadre, et par là la sphère elle-même. Cependant, elles changeront très-aisément leurs directions s'il y a une action de forces pouvant causer un tel changement, et l'on aura évidemment une action de cette espèce de la manière que nous venons d'indiquer.

Pulsations vers oscillations (M_r, M_r).— On aura enfin les actions

entre les corps oscillants et pulsants, c'est-à-dire entre des *masses hydroélectriques* et des *hydro-aimants*. Autrement dit, on aura encore, en quelque sorte, un certain électromagnétisme.

Au moyen de l'appareil O_n transformé en M_r, en y remplaçant la partie oscillatoire et fixe par le tambour pulsant, on montrera facilement les attractions et les répulsions naissantes lorsque l'aimant nouveau est *longitudinalement* placé, par rapport au corps électrique; de même les déplacements normalement à la ligne centrale qui se produisent si, relativement à ce corps, le même aimant a une position *transversale*. La longueur de l'axe déterminée par celle des oscillations, étant ici petite, les déplacements seront aussi nécessairement très courts. On peut d'ailleurs modifier un peu les deux expériences et les réunir dans une seule d'une manière bien instructive. Si, au lieu de donner au corps hydro-électrique une position fixe, on le laisse suivre l'aimant continuellement, pendant les déplacements transversaux qui s'accomplissent, ces déplacements se renouvelleront, et l'on peut l'entraîner aussi loin qu'on veut; ensuite, en changeant de place, en sorte que de l'une ou de l'autre manière on ait pour cet aimant entraîné une position longitudinale, relativement au corps électrique, on aura un retournement aux positions antérieures. Et de cette sorte on pourrait continuer.

A la fin, l'appareil M_r, provenant également de O_r quand on y remplace les parties oscillatoire et fixe par le tambour pulsant, fait paraître, de son côté, des rotations du cadre, par conséquent aussi du corps oscillant. Et l'on aura ainsi, conformément à la théorie, par une sorte de forces hydro-électromagnétiques, une rotation d'un aimant produite par l'action d'un corps électrique. L'électricité et le magnétisme doivent être compris naturellement dans le sens modifié que nous donnons quelquefois aux mots pour abréger.

Je pourrais dire, après avoir donné cette exposition générale et résumée, ce qu'est dans cette théorie une couche électrique, une masse magnétique, etc. Je me borne à indiquer que la première se représentera par l'intensité dans un courant radial et que le moment magnétique se rapportera à une quantité de mouvement. L'explication de tout cela et d'un bon nombre d'autres choses m'entraînerait cependant trop loin, et, pour mettre le lecteur en

état de mieux suivre les faits hydrodynamiques fondamentaux, je le prie de se reporter à mes cinq articles insérés dans les *Comptes rendus* en mai et juin 1877, à deux articles dans le même recueil en janvier et février 1879, comme aussi, pour plus de détails, à un dernier article lu à l'Académie, quelques jours après la séance de la Société, le 21 juillet. On y trouvera l'histoire de l'origine et du développement successif de cette théorie et une annonce des Mémoires préparatoires. Je me propose de l'exposer avec plus de détails dans un Mémoire étendu que j'insérerai dans les écrits de la Société des Sciences, à Christiania.

SÉANCE DU 7 NOVEMBRE 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juillet est lu et adopté.

M. Mouton communique à la Société une première partie de ses recherches sur les lois de la dispersion des rayons calorifiques obscurs.

M. Niaudet présente un élément de pile à chlorure de chaux.

La force électromotrice de cette nouvelle pile, mesurée par comparaison avec un élément de Latimer-Clark et à l'aide d'un potentiomètre analogue à celui de ce physicien, est d'environ $1^{volt},6$.

MM. Bertin, Raynaud, Niaudet échangent quelques observations sur l'emploi du potentiomètre et sur la constance de l'étalon Latimer-Clark. M. Pellat, en opérant par la méthode d'opposition et en substituant un électromètre au galvanomètre, afin de se mettre à l'abri de toute polarisation, a trouvé entre deux exemplaires du Latimer-Clark une différence de $\frac{1}{100}$ Daniell.

Mesure de la longueur d'onde des calorifiques obscurs;
par M. L. Mouton [1].

Le procédé que j'ai employé est basé sur les considérations suivantes.

Imaginons deux nicols placés à la suite l'un de l'autre et ayant leurs sections principales parallèles; entre eux une lame cristalline, de quartz par exemple, taillée parallèlement à l'axe, a sa section principale à 45° de celles des nicols; faisons traverser ce système par un faisceau lumineux que nous concentrerons ensuite sur la fente d'un spectroscope : le spectre présentera une série de bandes noires parallèles à la fente. C'est la belle et célèbre expérience de MM. Fizeau et Foucault [2]. Considérons la partie centrale d'une de ces bandes noires, et soit λ la longueur d'onde à laquelle elle correspond. La vibration de cette longueur d'onde, n'ayant pu traverser le second nicol, a dû, par le fait de la lame, tourner d'un angle droit; les deux composantes en lesquelles la lame l'a décomposée ont donc pris, l'une par rapport à l'autre, une différence de marche d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde $(2k+1)\frac{\lambda}{2}$. D'autre part, e étant l'épaisseur de la lame, n et n' ses deux indices par rapport à la longueur d'onde λ, cette différence de marche en air est $e(n'-n)$; on a donc la relation

$$e(n'-n)=(2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

Si les nicols, au lieu d'être parallèles, sont à angle droit ou, comme on dit, à l'extinction, la relation est de la forme

$$e(n'-n)=k\lambda,$$

où k est également un certain nombre entier qui diminue d'une unité quand on passe d'une bande à sa voisine du côté du rouge.

---

(1) *Voir* le Mémoire complet (*Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XVIII, p. 145 et suiv.).
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXVI et XXX.

Selon la disposition que nous adopterons, la relation correspondante nous fournira le λ de chacune des bandes, si nous savons déterminer l'épaisseur e de la lame, ainsi que les indices n', n et le nombre k relatifs à cette bande.

Je vais montrer dans cette première Partie comment j'ai déterminé e et k.

L'épaisseur d'une lame collée sur verre ne peut guère se mesurer au sphéromètre, qui présente en outre l'inconvénient de ne pas préciser l'unité de longueur qui se trouve employée. Le premier procédé optique remonte à Biot ([1]).

On sait que Newton a enregistré les couleurs successives que l'on rencontre à mesure qu'on s'éloigne du centre noir des anneaux réfléchis normalement et noté les épaisseurs correspondantes de la lame d'air ; c'est ce qu'on appelle l'échelle chromatique de Newton. Cela posé, la méthode de Biot peut s'énoncer ainsi : Entre deux polariseurs à l'extinction, dans l'appareil de Norremberg par exemple, une lame mince cristalline donne une certaine teinte ; on obtiendra son épaisseur en multipliant par une constante propre à la substance de la lame la double épaisseur correspondant à la même teinte dans l'échelle de Newton. Cette constante est pour le quartz, par exemple, environ $\frac{1}{109}$.

On voit sans peine que ce procédé n'est qu'une approximation. L'expression qui définit la couleur en un point d'une lame d'air d'épaisseur d des anneaux réfléchis de Newton est $\Sigma \sin^2 \pi \frac{2d}{\lambda} \alpha$, dans laquelle α désigne la fraction de lumière de longueur d'onde λ que contient la lumière incidente, et la somme devant être étendue à tout le spectre ; d'autre part, la couleur, dans le cas de la polarisation chromatique parallèle d'une lame cristalline, est définie par

$$\Sigma \sin^2 \pi \frac{e(n'-n)}{\lambda} \alpha.$$

Comme $n'-n$ est fonction de λ, ces deux intégrales ne sauraient être comparées ; mais, si l'on admet que $n'-n$ conserve la valeur constante qu'il a vers le jaune vif du spectre, les deux intégrales

---

([1]) *Voir* Biot, *Traité de Physique théorique et expérimentale*, t. IV, p. 342 et suiv. — Billet. *Traité d'Optique physique*, t. I, p. 46.

auront tous leurs éléments égaux si l'on a $e(n'-n)=2d$. Les couleurs seront donc les mêmes dans les deux cas, et réciproquement, si les couleurs sont identiques, c'est que l'égalité précédente sera satisfaite.

La constante de Biot est donc le rapport $\frac{1}{n'-n}$, dans lequel on donnera aux indices n' et n les valeurs relatives au jaune du spectre. Et en effet, d'après les nombres de M. Mascart relatifs au quartz, $n'-n=0,00915$ pour la raie D et $0,00918$ pour la raie E, et $\frac{1}{109}=0,00916$.

L'approximation consiste donc à négliger la dispersion de double réfraction de la substance ; l'erreur sera par suite d'autant plus grande que cette dispersion sera plus forte et que la lame sera plus épaisse.

Le procédé que j'ai employé est rigoureux ; il fournit en outre le nombre k relatif à chacune des bandes du spectre. Il repose : 1° sur l'emploi d'un réseau connu au lieu d'un prisme dans l'expérience de Fizeau et Foucault rappelée plus haut ; 2° sur l'usage d'un développement en série liant $n'-n$ à la longueur d'onde.

J'entends par réseau connu un réseau dont on aura déterminé la distance entre deux traits consécutifs par la condition que la longueur d'onde de la raie D la moins réfrangible soit égale au chiffre de Fraunhofer qu'a adopté M. Mascart, $0^{\mu},5888$ [1] (μ désignera toujours à l'avenir le millième de millimètre de Fraunhofer). L'unité de longueur se trouve être ainsi le millimètre de Fraunhofer, ou mieux tout est rapporté à la longueur d'onde invariable de cette raie D. Le réseau que j'ai employé était de MM. Brunner frères ; les spectres y sont très beaux et très nets. Je le plaçais sur la plate-forme du goniomètre bien connu des mêmes constructeurs, dont le vernier donne les $10''$ et au besoin les $5''$. En résolvant par rapport à ρ l'équation $\rho \sin\delta = n.0,0005888$, dans laquelle δ est l'écart de la raie D_1 pour un spectre d'ordre n, j'ai obtenu pour ρ la valeur $\frac{1}{178}$ de millimètre. Tout phénomène de bande produit dans le spectre aura maintenant sa longueur d'onde déterminée en millimètres de Fraunhofer par la mesure de son angle d'écart.

---

(1) *Annales de l'École Normale*, 1re série, t. I, p. 258.

J'ai parlé en second lieu de l'emploi des formules de dispersion. Ce n'est point ici le lieu de rappeler toutes les discussions théoriques ou pratiques auxquelles la valeur relative des diverses formules proposées a donné lieu. Je dirai seulement, et cette raison tout empirique suffit au cas présent, que si l'on développe la différence des indices du quartz de B à G selon la formule simplifiée de Cauchy, $n'-n=\alpha+\frac{\beta}{\lambda^2}$, réduite à deux constantes α et β pour lesquelles la méthode des moindres carrés appliquée aux nombres de M. Mascart [1] m'a donné

$$\alpha=0,0088205,$$
$$\beta=0,0001093,$$

et qu'on substitue ce développement à la fonction vraie inconnue qui lie dans le quartz $n'-n$ à λ, on verra, en comparant les nombres calculés aux nombres observés, qu'on ne commet pas dans le spectre lumineux une erreur de $\frac{1}{300}$ de la valeur de $n'-n$.

Cela posé, plaçons une lame de quartz d'épaisseur inconnue entre deux nicols à l'extinction, la lame à 45°, le tout en avant de la fente du goniomètre armé de son réseau ; faisons traverser le système par un filet solaire et observons le premier spectre par exemple. Admettons que la lame soit d'épaisseur telle qu'au moins deux bandes noires soient bien nettement accusées dans les parties brillantes du spectre. Pour chacune d'elles, comme nous l'avons vu, l'expression $\frac{e(n'-n)}{\lambda}$ est un nombre entier. Soit k_0 la valeur de ce nombre pour la bande la moins diffractée ; elle sera k_0-1 pour la suivante ; δ_0 et δ_1 étant les écarts correspondant à ces bandes, nous avons les deux relations

$$(1)\qquad e\left(\frac{\alpha}{\rho\sin\delta_0}+\frac{\beta}{\rho^2\sin^2\delta_0}\right)=k_0,$$

$$(2)\qquad e\left(\frac{\alpha}{\rho\sin\delta_1}+\frac{\beta}{\rho^2\sin^2\delta_1}\right)=k_0-1.$$

---

[1] *Loc. cit.*, p. 238.

En les divisant membre à membre, il vient

$$\frac{k_0}{k_0 - 1} = \frac{\dfrac{\alpha}{\rho \sin \delta_0} + \dfrac{\beta}{\rho^3 \sin^3 \delta_0}}{\dfrac{\alpha}{\rho \sin \delta_1} + \dfrac{\beta}{\rho^3 \sin^3 \delta_1}} = A,$$

relation dans laquelle la valeur A du second membre est toute connue. Nous en tirons $k_0 = \frac{A}{A-1}$, qui sera d'autant plus voisin d'un nombre entier que les mesures auront été mieux faites, *et ce nombre entier sera la vraie valeur de* k_0.

Cette valeur transportée dans les équations (1) et (2), chacune d'elles donne une valeur de e; on prend la moyenne.

Voici un exemple du calcul.

Une de mes lames, le n° 3, fournit dans le spectre avec nicols croisés deux bandes se pointant très bien. J'ai trouvé $\delta_0 = 4°42'30''$, $\delta_1 = 5°47'$. On se rappelle que $\rho = \frac{1000^\mu}{178}$.

Ces nombres donnent $A = 1,2539$, d'où $k_0 = 4,938$, d'où je conclus que $k_0 = 5$. Ainsi la lame est de cinq ondes pour la longueur d'onde $\lambda_0 = \rho \sin \delta_0$, c'est-à-dire $0^\mu,4609$; elle est de quatre ondes pour la longueur d'onde $\lambda_1 = \rho \sin \delta_1$, ou $0^\mu,5658$. Celle-ci est bien, en effet, à peu près la longueur moyenne qu'on appelle *longueur d'onde du blanc* dans l'emploi de la méthode des couleurs de Biot; aussi M. Laurent avait désigné cette lame sous le nom de *lame quatre ondes*.

Enfin, si au moyen de chacune des deux équations

$$e\left(\frac{\alpha}{\rho \sin \delta_0} + \frac{\beta}{\rho^3 \sin^3 \delta_0}\right) = 5,$$

$$e\left(\frac{\alpha}{\rho \sin \delta_1} + \frac{\beta}{\rho^3 \sin^3 \delta_1}\right) = 4,$$

où maintenant tout est connu excepté l'épaisseur e, nous calculons cette épaisseur, la première donne $e = 246^\mu,9$, la seconde $e = 247^\mu,1$, d'où 247^μ pour la valeur de e. La méthode de Biot lui aurait assigné l'épaisseur trop faible de 224^μ environ.

Tandis que la méthode de Biot ne réussit qu'avec des lames d'épaisseur inférieure à une certaine limite, le procédé qui précède.

au contraire, n'est applicable qu'à des lames d'épaisseur supérieure à une limite déterminée ; mais, de même que Biot étendait la méthode des couleurs à des lames trop épaisses pour en donner seules ([1]), en les croisant avec une lame connue de même substance, on peut étendre le procédé précédent à des lames trop minces en y adjoignant parallèlement une lame semblable déjà étudiée. De l'épaisseur totale obtenue on retranche l'épaisseur connue de la lame auxiliaire.

Comme on a autant d'équations que de bandes, on peut, dans le cas de lames assez épaisses, former plusieurs couples ou pointer des bandes distantes de 1, 2, 3,....

Enfin, au lieu de croiser les nicols, on peut les mettre parallèles. Les nombres auxquels correspondent les bandes sont alors, comme on l'a vu, de la forme $\frac{2k+1}{2}$. On a par là une nouvelle série de mesures qui avaient pour mon sujet une importance spéciale, en ce qu'elles me donnaient immédiatement l'ordre de la dernière bande noire visible dans la disposition même où seront faites les mesures calorifiques. Ainsi, dans cette disposition, la dernière bande noire visible du côté rouge de la lame n° 3 dont j'ai parlé tout à l'heure correspondait au nombre $\frac{7}{2}$ et à une longueur d'onde $0^{\mu},6348$.

Pour résumer, on voit donc que j'ai pu réunir pour chacune des lames de quartz que j'ai employées les données analogues aux suivantes.

La lame n° 3 a une épaisseur de 247^{μ}, et, si elle est placée entre les nicols parallèles, sa dernière bande noire du côté rouge du spectre lumineux correspond à une différence de phase égale à $\frac{7}{2}$. J'ai donc à attendre de cette lame, si toutefois le spectre calorifique est suffisamment étendu, les bandes successives $\frac{5}{2}$, $\frac{3}{2}$ et $\frac{1}{2}$.

Bien que cela sorte du sujet de ce travail, il ne paraîtra peut-être pas sans intérêt que j'indique sommairement ici deux appli-

---

([1]) *Traité de Physique théorique et expérimentale*, t. IV, p. 511 et suiv.

cations qui me semblent pouvoir être faites de la méthode qui vient d'être exposée.

La première serait la comparaison du pas de la vis d'un sphéromètre au millimètre de Fraunhofer ou, si l'on aime mieux, à la longueur d'onde de la raie D_1. Une lame de quartz parallèle, non collée sur verre et mesurée à un sphéromètre Cauchoix du laboratoire, m'a donné $1^{mm},002$. La plaçant dans le système polariseur, j'y ai pointé sans trop de soin sept bandes dans le cas des nicols croisés, deux pour vérification dans le cas des nicols parallèles. Le nombre k_0, se rapportant dans le premier cas à la bande la plus diffractée, a été trouvé 14,1, d'où 14. En calculant les épaisseurs fournies par les neuf bandes pointées, j'ai trouvé $985^{\mu},24$, $984^{\mu},68$, $985^{\mu},4$, $984^{\mu},63$, $984^{\mu},01$, $984^{\mu},63$, $984^{\mu},95$, $984^{\mu},99$, dont le plus grand écart est $1^{\mu},86$ et dont la valeur moyenne $984^{\mu},86$ ne s'éloigne que de $0^{\mu},85$ de la valeur qui en diffère le plus.

Il résulterait que le millimètre du sphéromètre employé vaut à très peu près $\frac{984,86}{1002}$ millimètres de Fraunhofer ou

$$\frac{984,86}{1002 \times 0,0005888} = 1669$$

longueurs d'ondulation de la raie D_1.

Tout ce qui précède ne s'applique qu'à des lames d'une substance dont on connaît les indices par rapport à un nombre suffisant de longueurs d'onde. La seconde application que je propose a trait à des lames d'une substance dont on ne connaîtrait aucun indice. Dans le travail que j'ai rappelé au début, MM. Fizeau et Foucault (1) ont fait remarquer que, si l'on connaissait le nombre k se rapportant à l'une des bandes, on en déduirait le nombre propre à chacune des autres, et par suite les diverses valeurs que prend avec la longueur d'onde le produit $e(n'-n)$, c'est-à-dire la *dispersion de double réfraction de la lame*. Mais le procédé qu'ils indiquent pour la détermination de ce nombre k n'est pas, en général, praticable. Or, si l'on admet *a priori* le développement en

(1) *Loc. cit.*, p. 146.

série sous la forme $a + \frac{b}{\lambda^2} + \cdots$ de $n' - n$, ce que toutes les déterminations d'indices effectuées montrent comme n'étant jamais loin de la vérité, il suffira de prendre dans notre système d'équations une équation de plus qu'on n'a admis de constantes, et, en éliminant les produits ea, eb, on obtiendra le nombre k.

Je l'ai fait avec une lame de gypse. En prenant seulement deux constantes et les trois équations fournies par les trois premières bandes, j'ai obtenu, pour k, 10,09, d'où 10. En calculant alors les valeurs successives du produit $e(n - n')$ correspondant aux $\lambda = \rho \sin \delta$ des bandes, j'ai pu former le Tableau suivant :

Longueurs d'onde.	$e(n - n')$.
$0^{\mu},5903$	5,908
0,5363	5,897
0,5125	5,893
0,4910	5,891
0,4543	5,896
0,4214	5,903

qui montre que la différence $n - n'$ des deux indices principaux du gypse passe par un minimum dans les environs de la longueur d'onde $0^{\mu},4910$, c'est-à-dire entre E et F.

M. von Lang (1), dans des mesures d'indices faites par la méthode des prismes, a constaté ce minimum vers E.

Pile au chlorure de chaux; par M. Alf. Niaudet.

Les électrodes de cette pile sont de zinc et de charbon. Le zinc baigne dans une solution de sel marin ; il convient d'employer la proportion de 24 de sel pour 100 d'eau, qui donne le maximum de conductibilité. Cette solution n'est pas saturée et peut dissoudre sans peine le chlorure de calcium qui prend naissance dans la pile. Le sel marin donne à la pile une force électromotrice supérieure à celle qu'on obtiendrait avec les autres chlorures et d'autres li-

(1) Voir *Journal de Physique*, t. VII, p. 277.

quides qui ont été essayés. Ce fait est d'accord avec les expériences de Poggendorff (rapportées par M. Wiedemann dans son Traité, 2ᵉ édition) sur la pile de Grove; il obtenait une force électromotrice plus grande avec de l'eau salée qu'avec de l'acide sulfurique étendu seulement de quatre fois son poids d'eau.

Le charbon est placé dans un vase poreux avec du chlorure de chaux. Cette matière est un mélange de chaux, d'hypochlorite de chaux et de chlorure de calcium. Ce dernier se dissout immédiatement quand on monte la pile. L'acide hypochloreux se décompose sous l'influence de l'hydrogène de polarisation; de l'eau et de l'acide chlorhydrique se forment, mais ce dernier s'unit à la chaux et donne du chlorure de calcium.

Les seuls produits de l'action de la pile sont donc de l'eau et du chlorure de calcium; ce sel est, comme on sait, l'un des corps les plus solubles qu'on connaisse. L'expérience montre en effet que le liquide conserve sa limpidité; il ne se forme aucun sel insoluble par suite de réactions secondaires.

La force électromotrice a été trouvée égale à 1,6 volt au début. La pile n'est pas complètement dépolarisée par le chlorure de chaux; elle se polarise quand on ferme le circuit sur une résistance peu considérable; elle se dépolarise par un repos peu prolongé. Mais elle ne reprend jamais toute sa force électromotrice première, et cette particularité, qui s'observe dans toutes les piles non complètement dépolarisées, ne paraît pas facile à expliquer.

Le principal mérite de cette pile est que le zinc n'est absolument pas attaqué par les liquides aussi longtemps que le circuit est ouvert; en d'autres termes, il n'y a aucun travail chimique qui ne réponde à une production corrélative d'électricité utile ou utilisable. Cet avantage se rencontre jusqu'ici seulement dans un petit nombre de piles, et c'est M. Leclanché qui a montré le premier que de pareilles combinaisons voltaïques étaient réalisables.

Le chlorure de chaux gênerait par son odeur, si l'on n'avait la précaution de clore le vase qui contient l'élément avec un bouchon de liège recouvert de cire. Cette disposition supprime toute évaporation en même temps que toute perte de matière active. Un trou est ménagé dans le bouchon pour introduire l'eau au moment où l'on veut mettre la pile en action.

On peut employer, au lieu d'un vase de porcelaine poreuse, des

vases à fond de bois formés ou de toile à voile ou de papier parchemin, qui diminuent la résistance intérieure de l'élément.

On peut encore, dans le même but, employer des électrodes de charbon creuses et contenant le chlorure de chaux, ce qui dispense de tout vase poreux spécial.

SÉANCE DU 21 NOVEMBRE 1879.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Garnuchot, professeur de Mathématiques au Collège de Melun;

Louis Kuhn, professeur de Physique au Lycée Temesvar (Hongrie);

de Meaux, chef de bureau au Ministère des Postes et Télégraphes;

Vagniez Fiquet-Benoni, négociant à Amiens.

M. Gouy expose à la Société les méthodes qu'il emploie dans ses recherches photométriques sur les flammes colorées.

M. Mercadier décrit le micromètre qu'il a inventé pour la mesure de l'amplitude des vibrations d'un diapason, ou plus généralement d'un corps vibrant présentant assez de masse pour que l'on puisse y coller une petite lame de papier. L'expérience est répétée en projection devant la Société.

Méthode employée dans les recherches photométriques sur les flammes colorées; par M. A Gouy.

Les propriétés optiques des vapeurs métalliques incandescentes ont été l'objet d'un grand nombre de travaux, dont quelques-uns

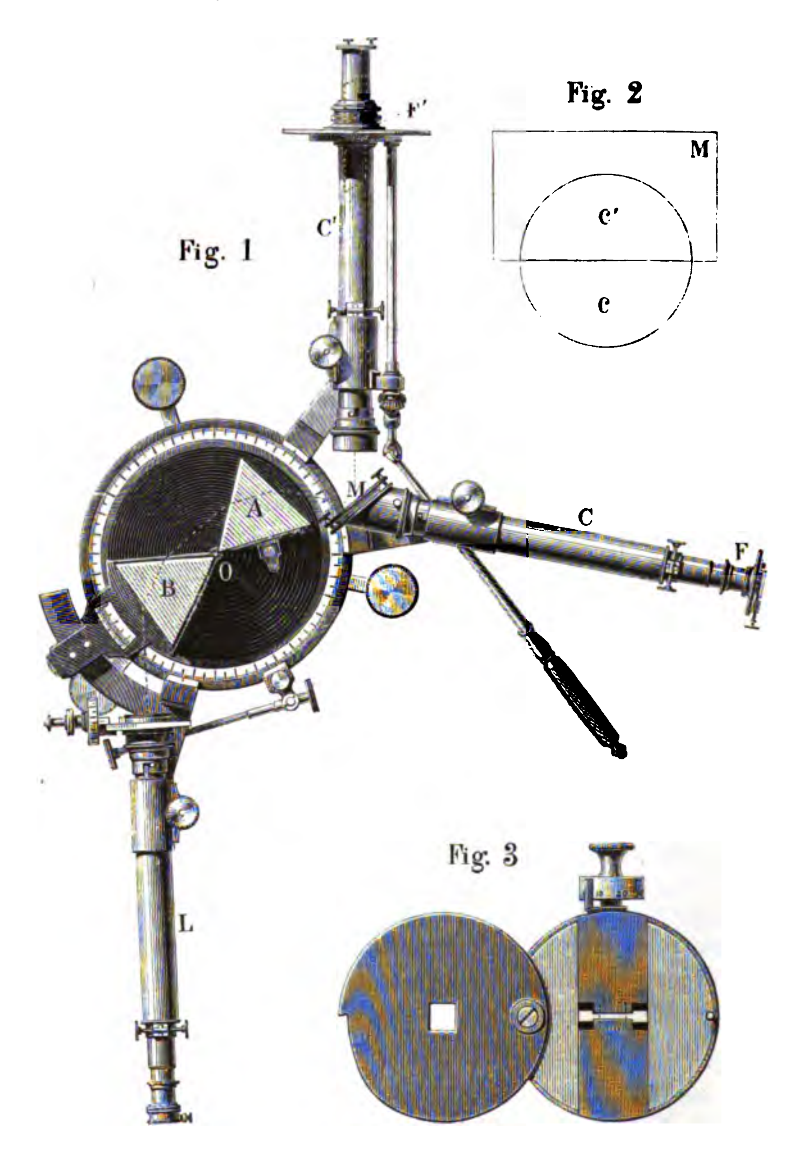
sont devenus classiques, et qui ont eu pour objet principal la description exacte des spectres donnés par les vapeurs et les gaz incandescents. Il en résulte que l'analyse spectrale, envisagée au point de vue chimique, est aujourd'hui établie sur des bases solides et permet, en étudiant le rayonnement du Soleil ou d'une étoile, de reconnaître la plupart des substances qui forment la surface incandescente. Mais il n'en est pas de même de l'état physique de ces substances et, en l'absence de données sur ce point, il est impossible actuellement de reconnaître la température, l'épaisseur et la densité d'une couche de vapeur par l'étude de son rayonnement.

En effet, nous ne savons rien de précis sur l'influence de la densité et de la température. Quant à l'épaisseur, la théorie nous apprend que l'intensité d'un rayon simple est proportionnelle à $1 - e^{-mE}$, E étant l'épaisseur de la couche, supposée homogène, et m un coefficient qui dépend de la longueur d'onde. Mais cette formule n'est pas immédiatement applicable. En effet, il est facile de démontrer qu'une raie ne peut jamais être composée d'un rayon simple ou de longueur d'onde unique, mais résulte nécessairement du groupement d'une infinité de rayons voisins ([1]); en d'autres termes, que l'intensité du rayonnement est une fonction continue de la longueur d'onde λ, fonction dont le maximum forme la raie. Dès lors, l'intensité de la raie est proportionnelle à l'intégrale $\int(1 - e^{-mE})d\lambda$, prise entre des limites convenables; la variation de l'intensité avec E dépend donc de la fonction inconnue qui lie m à λ. Ces diverses questions exigeaient donc de nouvelles recherches, et il était nécessaire de procéder à des mesures photométriques.

L'appareil que j'ai employé pour ces mesures a la forme générale d'un spectroscope à deux prismes (*fig.* 1). Le collimateur C a son objectif à demi recouvert par un miroir plan M, sur lequel se réfléchissent les rayons sortis d'un second collimateur C';

([1]) On trouvera cette démonstration, avec d'autres détails que je ne puis donner ici, dans un Mémoire publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XVIII, p. 5. Je profite de l'occasion pour rectifier, dans cette démonstration, un *lapsus* d'ailleurs facile à reconnaître : il y est dit, page 10, qu'un élément infiniment petit ω reçoit une quantité finie de lumière, ce qui n'a pas de sens; l'élément ω doit être regardé comme ayant une surface très petite, mais déterminée.

ces rayons, après réflexion, deviennent parallèles aux rayons sortis de C, et, par suite, au foyer de la lunette L, nous aurons



deux spectres en coïncidence exacte, fournis l'un par C, l'autre par C′. Ce dernier spectre est continu et donné par une lampe

à gaz; le spectre donné par C est, au contraire, un spectre de raies, fourni par la flamme colorée que l'on place devant la fente F. La lunette L, au lieu d'oculaire, porte à son foyer une fente verticale qui ne laisse passer qu'une portion très limitée du spectre (*fig.* 3). L'œil placé derrière cette fente voit, à travers les prismes, la moitié inférieure de l'objectif de C, et, réfléchie sur le miroir, la moitié supérieure de l'objectif de C′, sous l'aspect de deux demi-cercles lumineux de même nuance, *c* et *c′* (*fig.* 2). On peut leur donner le même éclat en faisant varier l'éclat de *c′* au moyen de deux nicols dont est muni le collimateur C′. L'angle des deux nicols donne les éléments de la mesure photométrique.

Les flammes colorées employées dans ces expériences devaient, pour donner des résultats utiles, être homogènes et d'éclat constant. Pour réaliser ces deux conditions, j'ai employé la méthode suivante. De l'air comprimé passe dans un pulvérisateur et réduit en poussière une solution saline convenablement choisie. Cet air, chargé de poussière saline, se mélange au gaz d'éclairage dans un appareil régulateur, et le mélange, homogène et de proportions constantes, vient brûler dans des lampes formées d'un simple tube cylindrique. Au besoin, cette flamme peut être enfermée dans une autre flamme incolore de même température, pour la préserver de l'influence de l'air extérieur.

Sur la détermination des éléments d'un mouvement vibratoire; par M. E. Mercadier.

1. On sait que l'équation générale d'un mouvement vibratoire pendulaire est

$$y = a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \varphi\right),$$

dans laquelle y représente le déplacement variable avec le temps t.

Les éléments caractéristiques de ce mouvement sont : 1° la demi-amplitude a dont le carré est proportionel à la force vive moyenne du mouvement, correspondant à ce qu'on nomme l'*intensité* du son

qui peut en résulter; 2° la durée T de la *période*, ou, ce qui revient au même, le nombre de vibrations doubles effectuées dans une seconde, correspondant à la *hauteur* du son produit; 3° la phase φ du mouvement, c'est-à-dire la fraction de la durée de la période qui sépare de l'origine du temps l'instant de l'origine du déplacement.

Dans la théorie qui conduit à l'équation ci-dessus, on admet que a et T sont des constantes indépendantes l'une de l'autre. Il est vrai qu'on suppose les amplitudes très petites. Au point de vue pratique, cette restriction n'a qu'une faible importance. J'ai fait voir, en effet, notamment (voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, octobre 1876), que l'on peut faire varier l'amplitude du mouvement vibratoire d'un diapason de $0^m,0005$ à $0^m,005$ sans que la valeur de la période soit sensiblement altérée en valeur absolue quand on la détermine directement, par voie d'enregistrement graphique par exemple.

Mais, quand il s'agit de comparer les périodes de deux mouvements, par exemple, à l'aide de méthodes optiques à grande sensibilité, l'influence de l'amplitude sur la période peut devenir manifeste, et la question de vérifier la constance de l'amplitude d'un mouvement, de la maintenir au besoin et de la mesurer présente un intérêt qui peut devenir capital dans certaines recherches.

D'autre part, la même question présente un intérêt plus grand encore quand on veut arriver à constituer une méthode précise de *phonométrie*, c'est-à-dire de comparaison des *intensités sonores*, semblable à ce qu'est la *photométrie* pour les vibrations lumineuses.

C'est ainsi que j'ai été conduit à m'occuper de ce sujet de recherches, qui ne paraît pas avoir été étudié jusqu'ici, du moins à ma connaissance, avec toute l'attention qu'il mérite.

Cette étude fait l'objet de ce Mémoire.

MESURE DES AMPLITUDES; MOYEN DE LES MAINTENIR CONSTANTES.

PREMIER CAS. — *L'amplitude du mouvement est variable.*

2. En ce cas, suivant la nature du corps vibrant, on peut employer des procédés optiques de mesure un peu différents.

Si l'on a affaire à des corps minces, comme une corde, une tige très légère, etc., sur lesquels on ne peut placer un autre corps, comme un style, sans altérer le mouvement, on peut les projeter, à l'aide d'un faisceau lumineux parallèle, sur une échelle divisée. On peut encore déterminer à la surface du corps vibrant un point brillant avec un fragment de feuille d'or, ou un grain de poussière d'antimoine (comme l'a indiqué M. Terquem), et superposer dans le plan focal d'une lunette l'image du point lumineux et celle d'une règle divisée.

On pourra ainsi suivre et évaluer la variation d'amplitude du mouvement en un point quelconque du corps vibrant.

Cela suppose, il est vrai, que le nombre des vibrations du corps soit suffisant pour que, en vertu de la persistance des impressions sur la rétine, le point brillant paraisse former une trace continue. Nous reviendrons là-dessus tout à l'heure.

3. Très souvent, on peut tracer sans inconvénient des traits sur le corps vibrant, ou bien on peut fixer sur lui un corps léger, comme un style, un morceau de papier un peu épais : c'est, par exemple, le cas des tiges, plaques ou lames vibrantes, des diapasons, etc. En ce cas, on peut, en fixant un style de longueur connue, enregistrer les vibrations en spires serrées sur un cylindre enfumé, mesurer après coup l'amplitude à l'extrémité du style et en déduire celle d'un point du corps vibrant. J'ai employé plusieurs fois ce procédé.

Mais cette méthode exige les accessoires ordinaires de l'enregistrement des mouvements vibratoires, et elle pourrait être inapplicable dans une foule de cas où la mesure de l'amplitude du mouvement n'est que la partie accessoire d'une expérience, et aussi dans le cas où l'on a besoin d'apprécier l'amplitude dans le cours d'une expérience, *immédiatement* et non après coup, ou de suivre au fur et à mesure ses variations. C'est en vue de ces cas nombreux que j'ai imaginé le procédé suivant, plus simple que le précédent, et qui constitue ce qu'on pourrait appeler un *micromètre vibrant*.

On trace sur le corps lui-même une échelle de traits équidistants, de $0^{mm},5$ par exemple, ou bien on les trace en noir sur une bande mince de papier épais blanc qu'on colle ensuite sur le corps vibrant, la division du milieu dépassant un peu les autres.

Pendant le mouvement les divisions s'entre-croiseront, et il pourra arriver deux cas : ou bien l'amplitude sera un multiple exact de la longueur d'une division, ou elle ne le sera pas.

Considérons le premier cas; supposons, pour fixer les idées, que l'amplitude soit égale à 4 divisions, et que la vibration s'effectue verticalement :

Fig. 1.	Fig. 2.	Fig. 3.	Fig. 4.	Fig. 5.	Fig. 6.
	6 --				
	5 —				
6 --	4 --				
5 —	3 —		—		
4 —	2 —	6 —		--	
3 —	1 —	5 —	--	—	
2 —	0 ———	4 —	———	—	--
1 —	1′ --	3 —	—	————	--
0 ————	2′ —	2 —	—		———
1′ --	3′ —	1 —	—	———	———
2′ —	4′ —	0 ———	———	—	--
3′ -	5′ --	1′ —	—	—	—
4′ —	6′ —	2′ —	—	—	—
5′ —		3′ —	—		
6′ —		4′ —	—		
		5′ --			
		6′ —			

La *fig.* 1 représente la division quand le corps est en repos.

La *fig.* 2 la représente lorsque le corps, se trouvant à l'une de ses positions extrêmes, y est supposé arrêté un instant.

La *fig.* 3 la représente dans les mêmes conditions, mais à la position extrême opposée.

En vertu de la persistance des impressions lumineuses rapides, l'œil croira voir une figure *stable* formée de la superposition des traits en coïncidence des *fig.* 2 et 3, de telle sorte, que l'aspect définitif sera celui que représente la *fig.* 4. Le long trait marqué zéro paraît dédoublé; les traits tels que 3 — 1′, 2 — 2′, 1 — 3′ paraissent superposés : le nombre des intervalles compris entre les images du trait zéro représente précisément la grandeur de l'amplitude en divisions (quatre dans le cas actuel).

La *fig.* 5 se rapporte au cas où l'amplitude est égale à deux divisions : la *fig.* 6 au cas où elle est égale à une division.

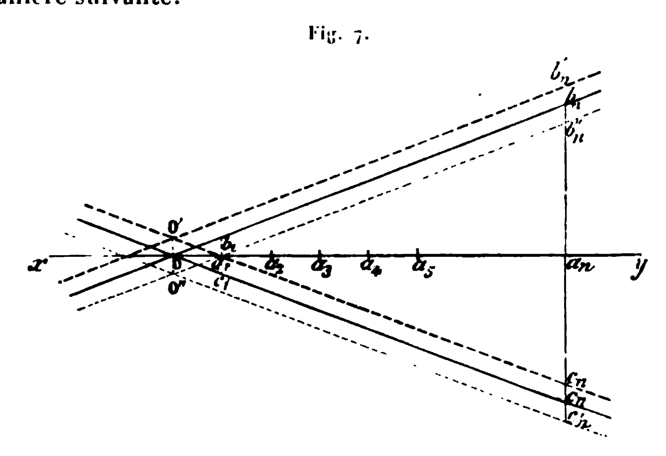
Supposons maintenant que l'amplitude ne soit pas un multiple exact de la longueur d'une division.

En ce cas, il ne se produit plus de coïncidence apparente des traits ni entre les deux images du trait zéro, ni en dehors ; on a alors une figure estompée de gris qui ne peut donner aucune mesure de l'amplitude.

Si donc l'amplitude varie progressivement, on voit *alternativement* des figures estompées et des figures nettes comme les *fig.* 4, 5 et 6, et l'on peut apprécier l'instant où l'amplitude est égale à 1, 2, 3, 4, ... divisions de l'échelle. Mais on ne peut ainsi faire d'évaluations intermédiaires.

4. On améliore beaucoup cette méthode et l'on peut mesurer des amplitudes *quelconques*, en modifiant le procédé ci-dessus de la manière suivante.

Fig. 7.



Sur le corps lui-même ou sur un morceau de papier, on trace un axe xy et une échelle O, a_1, a_2, a_3, ..., a_n de n divisions; on élève en a_n des perpendiculaires $a_n b_n$, $a_n c_n$ égales à p divisions; on trace l'angle $b_n O c_n$. On colle cette figure sur le corps vibrant.

Si la direction des vibrations est perpendiculaire à xy, on voit se former deux angles opposés dont le sommet partant de O parcourt de gauche à droite l'axe xy d'un mouvement continu, l'angle de droite restant blanc, tandis que l'autre est teinté de noir, ce qui donne la position du sommet avec une grande netteté. L'explication du phénomène est évidente.

Il est aisé de déduire de là l'amplitude correspondante.

En effet, supposons le sommet de l'angle apparent sur le premier trait a_1. A ce moment, l'angle réel occupe à l'extrémité supérieure de la vibration la position $b'_n O' c'_n$ et à l'extrémité inférieure la position $b''_n O'' c''_n$. L'amplitude est $O'O''$.

Or si l'on mène par a_1 la ligne $b_1 c_1$ perpendiculaire à xy, il est évident que l'on a

$$O'O'' = b_1 c_1.$$

Mais

$$\frac{b_1 c_1}{1} = \frac{b_n c_n}{O a_n} = \frac{2p}{n},$$

d'où

$$O'O'' = b_1 c_1 = \frac{2p}{n}.$$

En général, $O'O'' = 2m\frac{p}{n}$ si m est le nombre de divisions parcourues par le sommet de l'angle.

Si donc la longueur de la division est connue, $O'O''$ est déterminé.

Habituellement, les amplitudes à mesurer ne dépassent pas $0^m,005$. On peut prendre $O a_n = 0^m,030$, chaque division étant de $0^m,001$; en prenant $a_n b_n = 0^m,003$, de façon que la pente des deux lignes de l'angle soit de $\frac{1}{10}$, on voit que, lorsque le sommet O atteindra la première division a_1, l'amplitude sera de $\frac{2}{10}$ de millimètre; lorsqu'il atteindra la seconde a_2, elle sera de $\frac{4}{10}$, et ainsi de suite.

On peut suivre ainsi nettement les variations de l'amplitude de 2 en 2 dixièmes de millimètre. Si l'on divisait $O a_n$ en demi-millimètres, on suivrait la variation de dixième en dixième de millimètre.

5. Il est à remarquer que le dispositif ci-dessus peut être simplifié : il suffirait d'un axe tel que xy et d'une seule ligne inclinée au dixième au lieu de deux; mais l'effet produit sur l'œil est un peu moins net. La *fig.* 8 représente un micromètre vibrant de ce genre, à pente de $\frac{2}{10}$; un côté de la figure est noirci pour que le sommet de l'angle soit plus net.

On peut d'ailleurs projeter les divers aspects de la figure en la

traçant en noir sur une lame transparente ou en traits transparents sur une lame de verre argentée, en l'éclairant avec un faisceau lumineux parallèle et en produisant avec une lentille, à la manière ordinaire, une image réelle des traits. Pour des mesures précises, on peut tracer des traits plus rapprochés et observer au microscope.

Il va sans dire que la figure doit être fixée au corps vibrant, de façon que tous ses points aient la même amplitude. Pour un diapason, par exemple, il faut la fixer à l'extrémité des branches, à

Fig. 8.

plat, sur la section droite. La grandeur de la lame de papier ou de verre sur laquelle se fait le tracé est d'ailleurs assez petite, même pour des observations à l'œil nu; pour des amplitudes variant de 0^{mm} à $0^{m},006$, une lame de $0^{m},004$ de base sur $0^{m},010$ de hauteur suffit parfaitement.

Quoique l'amplitude soit supposée variable, cette méthode peut servir à étudier des phénomènes qui se produisent pour une valeur *déterminée* de l'amplitude, car on peut saisir et noter exactement l'instant où cette valeur se produit. A ce point de vue, la méthode peut rendre des services dans un certain genre de recherches.

Mais il en est d'autres qui exigent que l'amplitude reste constante ou à très peu près. Nous allons maintenant examiner ce cas.

Deuxième cas. — *L'amplitude du mouvement est constante.*

6. Observons d'abord que la méthode indiquée ci-dessus permet de constater avec précision si l'amplitude reste effectivement constante. On peut alors la mesurer, soit directement par une lecture faite, si c'est nécessaire, à la loupe ou au microscope, soit indirectement et à loisir, après avoir photographié la figure stable, vivement éclairée, qui sert à effectuer la mesure.

Mais on sait qu'il n'existe pas de corps qui, soumis à un mouvement vibratoire et *livré à lui-même,* conserve une amplitude constante, à cause de la résistance de l'air et de la communication du mouvement aux supports : il en résulte, en effet, une perte ou plutôt une transformation d'énergie inévitable. On ne peut donc maintenir l'amplitude constante qu'en restituant au corps vibrant, périodiquement, à des époques convenables, de façon à ne pas altérer les éléments de son mouvement, la portion d'énergie incessamment transformée.

Le meilleur moyen actuellement connu consiste, quand cela est possible, à restituer l'énergie perdue à l'aide d'une attraction électromagnétique de durée très petite, exercée sur le corps vibrant aux moments de l'une de ses élongations maxima. On rend cet effet automatique en faisant fermer à ces moments par le corps lui-même un circuit formé d'une pile et d'un électro-aimant dont le noyau est convenablement placé en face du corps vibrant. En employant, ainsi que je l'ai indiqué en 1873 (1), un style en acier, en platine ou en argent et un contact platiné pour fermer le circuit en question, on a un procédé sûr, qui a été généralement adopté, d'entretenir le mouvement vibratoire et de lui conserver une amplitude *à peu près* constante si la pile elle-même conserve une intensité constante.

Cette méthode est très générale : elle s'applique immédiatement aux diapasons, aux lames et aux plaques vibrantes en acier, en fer ou en fonte (je me sers actuellement de diapasons en fonte malléable qui fonctionnent très bien ainsi); elle s'applique aux diapasons, lames et plaques faits avec des substances non magnétiques, pourvu qu'on puisse fixer à leur surface une petite masse de fer; elle s'applique aussi aux cordes vibrantes en fixant, si c'est nécessaire, en un point voisin du point d'encastrement, un petit anneau léger en fer et un petit style en acier, etc., etc.

7. Cette méthode étant adoptée, j'ai dû chercher à résoudre le problème suivant :

Donner à volonté à un corps vibrant une amplitude variant

---

(1) *Journal de Physique*, t. II, p. 3[illegible]o.

de zéro à une limite déterminée, et maintenir cette amplitude indéfiniment constante, à $\frac{1}{100}$ près, à l'une des valeurs quelconques comprises entre ces limites.

Ce problème revient à donner aux électro-aimants dont l'action périodique régularise le mouvement une énergie constante.

Cette énergie dépend de plusieurs conditions : 1° les dimensions, la nature et le nombre des électro-aimants; 2° l'intensité du courant qui les anime; 3° la position des pôles par rapport aux points du corps qui sont attirés.

Examinons successivement ces trois conditions.

8. Supposons d'abord que la position soit fixe et qu'on ait à sa disposition une pile suffisante pour obtenir le maximum d'effet quand on fait varier la première condition.

Alors il est clair que tout ce qui pourra augmenter l'énergie de l'électro-aimant sera favorable à la solution du problème posé; il faut donc prendre des noyaux en fer très doux, dont les dimensions soient en rapport avec la grandeur et la rigidité du corps vibrant; ceci n'a pas, il est vrai, beaucoup d'importance, car on ne peut, en général, dépasser certaines dimensions assez restreintes. Il n'en est pas de même du nombre des pôles ou des centres d'action électromagnétique. Dans le but de réduire autant que possible le nombre des éléments de pile à employer, j'ai dans ces derniers temps augmenté le nombre des électro-aimants agissants, non pour les faire agir simultanément et de la même manière, ce qui conduirait forcément à augmenter le nombre ou les dimensions des éléments de pile, mais pour les faire agir *successivement,* de la manière suivante.

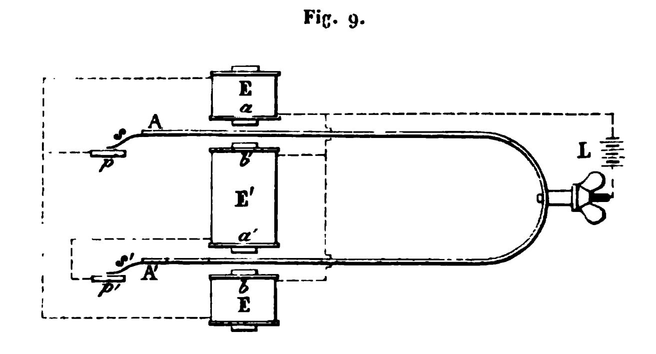
Je n'avais employé jusqu'ici qu'un électro-aimant agissant simultanément par ses deux pôles au moment de l'une des élongations maxima du corps vibrant, et je n'avais ainsi qu'un entretien du mouvement, qu'on peut appeler *simple* ou *à simple effet.* J'ai songé à obtenir un entretien *à double effet* en produisant deux actions électromagnétiques par période au lieu d'une seule : l'une au moment de l'une des élongations maxima; l'autre, *de sens inverse,* au moment de la seconde élongation maxima, qui suit la première à une demi-période d'intervalle. Il suffit pour cela d'ajouter au

corps vibrant un second style, placé convenablement en face d'un second contact platiné, et d'ajouter au système un second électro-aimant.

Le dispositif varie un peu, suivant la nature des corps vibrants. Je vais décrire l'un de ceux que j'ai adoptés pour les électrodiapasons.

La *fig.* 9 représente la projection horizontale du système,

Fig. 9.



A, A', branches du diapason:
s, s', style en acier ou en platine;
p, p', plaques de contact platinées;
E, E', électro-aimants; a, b, a', b' leurs pôles mobiles;
L, pile d'entretien;

avec les communications électriques, indiquées en pointillé. La légende jointe au dessin désigne suffisamment les pièces de l'appareil.

Le diapason étant en mouvement, lorsqu'il est à son élongation maxima *extérieure,* le circuit de la pile est fermé par le diapason, le style *s'*, la plaque *p'*, l'électro-aimant E', qui agit pendant un instant'. Puis les deux branches se rapprochent; quand elles sont arrivées à leur élongation maxima *intérieure,* le circuit est fermé par le style *s*, la plaque *p* et les électro-aimants E, qui agissent *simultanément* par leurs pôles *b* et *a*.

On voit qu'on obtient ainsi, avec une seule pile, véritablement un *double effet*. On peut donc produire ainsi facilement des variations d'amplitude assez grandes, en faisant varier le nombre d'éléments de la pile dont on dispose.

9. Il s'agit maintenant de maintenir constante l'amplitude du corps vibrant pendant plusieurs heures avec une précision assez grande, à $\frac{1}{50}$ ou à $\frac{1}{100}$ près.

On ne saurait pour cela compter seulement sur la constance de la pile.

En effet, l'attraction électromagnétique régulatrice du mouvement s'exerçant pendant un temps très court et devant malgré cela être assez énergique, on doit employer une pile assez forte. A cet effet, on peut recourir à un ou deux éléments Bunsen ou au bichromate de potasse; mais ces éléments ne sont pas constants. On peut prendre des éléments Leclanché, au peroxyde de manganèse et sel ammoniac, en les groupant convenablement; mais ces éléments se polarisent rapidement, et, à moins d'en prendre un assez grand nombre, on ne peut avoir une intensité constante pendant sept ou huit heures de suite, à moins qu'on n'ait besoin que d'une faible intensité.

On obtient un meilleur résultat avec des piles Daniell, modifiées par M. Callaud, par la suppression du diaphragme; mais il en faut un grand nombre groupées à grande surface pour produire l'effet de deux éléments Bunsen, ce qui peut être fort gênant.

On a indiqué, il est vrai, des procédés pour maintenir automatiquement la constance d'une pile; mais ils sont compliqués, et je ne pense pas qu'on puisse les employer ici pratiquement avec succès.

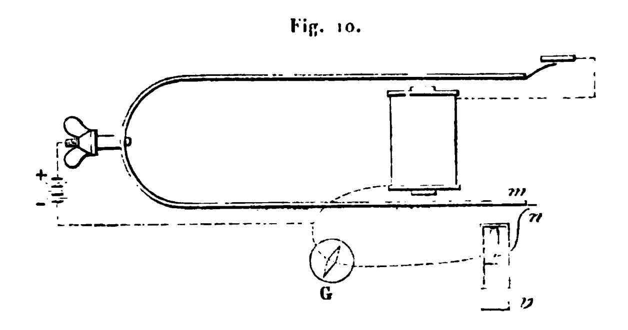
10. On pourrait songer à faire varier l'intensité de la pile, à l'augmenter graduellement, en agissant sur le circuit extérieur et en intercalant entre la pile et l'électro-aimant un rhéostat. Mais cette solution laisserait à désirer au point de vue de la rapidité d'action qui est nécessaire pour rétablir la grandeur d'une amplitude qui diminue; elle exigerait un instrument spécial, qui devrait être en rapport avec la pile et l'électro-aimant employés; elle n'est d'ailleurs pas automatique. Pour ces divers motifs, j'y ai renoncé, au moins provisoirement.

11. Voici une solution meilleure, qui est automatique, et que j'ai déjà employée, dès 1876, dans mes recherches sur l'influence de l'amplitude sur la durée de la période d'un mouvement vibra-

toire ([1]). Elle consiste à employer une pile plus énergique qu'il ne faut pour obtenir l'amplitude désirée et à empêcher l'instrument de dépasser cette amplitude.

Pour cela, un ressort léger *n*, mû par une vis à écrou mobile *v*, est approché du corps vibrant, un diapason par exemple, de façon

Fig. 10.



que la distance *mn* soit égale à la moitié de l'amplitude qu'on ne veut pas dépasser; l'écrou qui supporte le ressort est en communication permanente avec le pôle négatif de la pile d'entretien, *sans aucune résistance intermédiaire*.

On voit alors que, dès que le diapason atteint l'amplitude en question, le contact ayant lieu entre *m* et *n*, la pile est dérivée dans un circuit sans résistance, et l'action de l'électro-aimant cesse en très grande partie, pour reprendre dès que le contact *mn* a cessé.

Cette solution a l'inconvénient de compliquer le dispositif de l'instrument, en ajoutant un nouvel appareil aux électro-aimants, styles et plaques de contact qui sont indispensables. De plus, elle suppose que la pile conserve une énergie plus que suffisante pour atteindre l'amplitude désirée. Elle n'est donc réellement automatique qu'à cette condition et ne dispense pas de la surveillance de la pile et du *micromètre vibrant*, sur lequel on apprécie l'amplitude.

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, octobre 1876; *Annales télégraphiques*, mars et avril 1876. Je n'ai pas publié alors la méthode que j'employais pour maintenir l'amplitude constante, parce que je comptais la perfectionner. M. Marcel Deprez en a trouvé une tout à fait semblable récemment, et l'a appliquée avec succès à la régulation de la vitesse des arbres des machines électromagnétiques.

12. Si l'on n'a pas besoin d'une solution automatique du problème, on peut en trouver plusieurs en faisant varier la position des pôles des électro-aimants par rapport au corps vibrant.

Cette variation peut s'opérer de plusieurs manières. On peut conserver constante la distance des pôles aux points du corps vibrant, mais faire varier la position des électro-aimants par rapport aux supports des corps vibrants ou à leurs nœuds de vibration, par exemple faire glisser les électro-aimants le long des branches d'une lame vibrante ou d'un diapason. J'ai déjà indiqué ce procédé plusieurs fois, notamment dans le *Journal de Physique* (¹). Il n'a qu'un inconvénient : c'est de ne pas être assez rapide, ou plutôt d'exiger un trop grand déplacement de l'électro-aimant le long d'une glissière pour obtenir une faible variation de l'amplitude.

13. On peut encore donner à l'électro-aimant une position fixe et faire varier la distance des pôles aux points attirés, profitant ainsi de la loi rapide de variation de l'attraction électromagnétique avec la distance.

J'emploie depuis longtemps à cet effet plusieurs dispositifs dont le plus simple est représenté en coupe dans la *fig.* 8 ci-dessus. Le noyau de l'électro-aimant est composé de trois parties : un tube en fer doux continu, taraudé intérieurement; deux bouchons creux en fer doux, taraudés extérieurement, dont la longueur est un peu moindre que la moitié du tube : leurs extrémités constituent ainsi les pôles *mobiles* de l'électro-aimant a', b' ; on les fait mouvoir à l'aide d'un levier dont la pointe s'engage dans des trous pratiqués sur la saillie extérieure des bouchons.

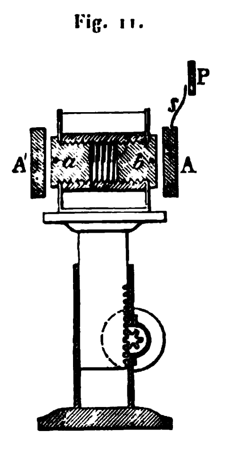
Ce procédé, qu'on peut d'ailleurs combiner avec le précédent, donne de bons résultats.

14. Enfin on peut encore faire varier plus commodément et plus efficacement la position des pôles des électro-aimants, en les déplaçant perpendiculairement au plan de vibration. La *fig.* 8 représente l'un des dispositifs que j'emploie quand il s'agit d'électro-diapasons.

(¹) Tome V, p. 315.

A l'aide de la crémaillère et du pignon P, les électro-aimants peuvent descendre perpendiculairement au plan de vibration, qui est ici horizontal. On peut se rendre clairement compte de l'effet produit par ce mouvement en considérant l'un des pôles, *a'* par exemple, et les lignes de force électromagnétiques issues de ce pôle. Leur nombre ne change pas pendant le mouvement : mais, à

Fig. 11.



mesure que le pôle descend, la branche correspondante du diapason en traverse un nombre de moins en moins grand et de plus en plus obliquement : l'attraction sur la branche diminue donc rapidement.

Cette attraction produit d'ailleurs son effet, même quand les pôles sont en dehors des branches du diapason, au-dessous des points A et A' (voir *fig.* 8) : on peut donc faire parcourir aux pôles, à partir et au-dessous de la position horizontale, une longueur égale environ à la largeur AB de l'instrument ($0^m,02$ à $0^m,03$), et l'on a ainsi le moyen de faire varier immédiatement l'amplitude dans le rapport de 1 à 10 au moins et de la maintenir constante aussi longtemps qu'on veut en faisant mouvoir de temps en temps le pignon P, qui soulève ou abaisse les électro-aimants, suivant les indications du *micromètre vibrant*.

J'ai pu ainsi, avec un électro-diapason de trente périodes par seconde, à l'aide de trois éléments Leclanché, qui n'ont pas été touchés une seule fois, maintenir l'amplitude à $0^m,003$ pendant des

mois entiers, à raison de sept à huit heures de travail par jour, pour des expériences où j'avais besoin de conserver sans cesse cette amplitude.

On obtient des résultats analogues avec des instruments de cent ou deux cents périodes par seconde.

15. Nous avons supposé, dans tout ce qui précède, que le nombre des vibrations du corps vibrant était suffisant pour pouvoir utiliser le phénomène de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, c'est-à-dire que ce nombre n'était pas plus petit que quinze ou vingt par seconde. C'est ce qui arrive ordinairement.

Mais, ayant été conduit à construire des diapasons qui font de six à quinze vibrations doubles par seconde et dont je me sers couramment, j'ai dû me préoccuper de résoudre pour ces instruments le problème indiqué ci-dessus.

Le *micromètre vibrant* n'étant plus applicable ici, je me suis trouvé, dans ce cas, ramené à la solution indiquée au n° 11 (*fig.* 10). En traçant sur la glissière le long de laquelle se meut l'écrou porteur du ressort de contact une division en demi-millimètres et sur l'écrou un vernier au dixième par exemple, ou en graduant la tête de la vis *v* comme on le fait pour les vis micrométriques, on peut mesurer l'amplitude et la maintenir constante.

Ce dernier point s'obtient comme on l'a vu au n° 11. Quant à la mesure de l'amplitude, elle s'effectue très aisément en intercalant dans le circuit dérivé dont le ressort *n* fait partie un petit galvanomètre très sensible *g*. Pour cela, l'appareil étant à l'état de repos, on fait tourner la vis *v* jusqu'à ce que, le ressort touchant le diapason, le galvanomètre dévie. On note la position de l'écrou; on recule ensuite le ressort; on fait vibrer l'appareil : quand il a atteint son amplitude définitive, on approche de nouveau le ressort *n* jusqu'au contact du diapason, contact indiqué par la déviation du galvanomètre avec une grande précision. La différence entre la deuxième position de l'écrou et la première donne la demi-amplitude.

L'observation du galvanomètre remplace ici jusqu'à un certain point celle du *micromètre vibrant* dans les appareils plus rapides. Si la pile se maintient suffisamment énergique pour produire une amplitude plus grande que celle à laquelle l'appareil est limité par

la position du ressort, l'aiguille du galvanomètre doit éprouver des oscillations saccadées continuelles : quand ces mouvements brusques cessent, on est sûr que l'amplitude est plus petite que celle qu'on voulait obtenir, et il y a lieu d'y porter remède, soit en augmentant l'énergie de la pile, soit en changeant la position des électro-aimants, comme il est dit au n° 14.

Cette méthode est notamment applicable à un pendule entretenu électriquement.

SÉANCE DU 5 DÉCEMBRE 1879.

PRÉSIDENCE DE M. BERTHELOT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Browne (H.-V.), représentant de la Compagnie *Dired Spanish Telegraph*, à Barcelone (Espagne);
d'Infreville (G.), ingénieur à New-York (États-Unis);
Lechatelier, ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines;
Mallard, ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines;
Rodocanachi (Emmanuel), à Paris.

MM. Vincent et Leclert envoient la description et le dessin d'un rhéostat qu'ils ont imaginé. La pièce essentielle de leur appareil est une roue conductrice à dents aiguës séparées par un corps mauvais conducteur. Un petit ressort appuie sur les dents et peut se déplacer de leur base à leur pointe, de manière à régler les intermittences du courant employé et le rendre équivalent à un courant continu d'intensité donnée.

M. Guébhard décrit et montre en projection les anneaux colorés produits à la surface du mercure par l'haleine ou par une goutte d'un liquide volatil.

Anneaux colorés à la surface du mercure;
par M. Adrien Guébhard.

Lorsqu'on balaye avec soin la pellicule grise que forment au-dessus du mercure impur les oxydes et les poussières, on découvre une surface dont la netteté est momentanément aussi grande et la mobilité toujours beaucoup moindre que celle du mercure chimiquement pur. Il suffit alors du souffle humide de l'haleine pour y développer de magnifiques systèmes de bandes colorées, à la place même où prendrait naissance, dans toute autre condition, une buée aux tons d'argent mat, capable de donner tout au plus quelques *couronnes* de faible intensité.

Ici la vapeur condensée s'étale uniment en nappe mince, d'épaisseur zéro sur les bords, en sorte qu'on voit se produire, de dehors en dedans (c'est-à-dire en sens inverse des dispositions expérimentales habituelles), toutes les nuances des anneaux *transmis* à centre blanc. Ces anneaux, au nombre de six ou sept, au lieu de quatre ou cinq que donne à peine la lentille de Newton, se projettent avec un très grand éclat sur fond blanc, mais sont complètement invisibles sur fond noir. Ils se resserrent, d'ailleurs, à mesure que l'évaporation diminue l'épaisseur de la couche liquide, et l'on voit, comme dans l'appareil de Foucault, mais par un mécanisme et dans un ordre inverses, la nappe centrale prendre successivement toutes les teintes de l'échelle chromatique complémentaire.

A la lumière du sodium, c'est par centaines qu'on peut voir les anneaux noirs se précipiter au centre, en lignes fines et serrées, tandis qu'ils s'étalent d'autres fois avec des largeurs de plusieurs centimètres et de tels écartements qu'on peut arriver, en variant convenablement les incidences, à les dédoubler et à faire surgir dans leurs intervalles le système de la seconde raie du sodium.

Mais le maximum d'éclat et de régularité s'obtient en substituant à la condensation de l'haleine les taches que forment à la surface du mercure certaines substances volatiles. Quelques essences légères se distinguent entre toutes, et en première ligne l'essence commune de pétrole et l'huile de naphte rectifiée : avec quelques gouttes versées sans la moindre précaution, on obtient

des anneaux colorés, parfaitement circulaires, de plusieurs *décimètres* de diamètre, et d'une durée très suffisante pour se prêter aux expériences de projection avec l'appareil horizontal de M. Duboscq. Une goutte d'essence de bergamote, ou encore de citron, portugal, cédrat, donne à la lumière monochromatique des cercles d'une régularité que réalisent à peine les lentilles les plus parfaites, et d'une finesse qui ne saurait être comparée qu'aux stries microscopiques de certaines paillettes de lépidoptères.

Sur le mercure pur, le développement des taches est presque instantané, mais les anneaux moins durables et moins consistants. L'extrême mobilité de la surface, la difficulté de la débarrasser des ternissures, si promptes à se produire à l'air, enfin l'absence presque absolue de tension superficielle pour réagir contre l'irrégularité du dépôt de la goutte : voilà autant de raisons qui rendent peu avantageux l'emploi du mercure pur, sauf dans le cas où l'on voudrait, par des mouvements spécialement imprimés à la masse, modifier la forme de la tache et produire, par exemple, des apparences analogues aux spirales d'Airy. Notons cependant que le thym et le serpolet, quoique avec beaucoup de lenteur, donnent des colorations très durables et d'un très grand éclat.

Mais presque toutes les autres essences de plus fortes densités (lavande, romarin, cumin, fenouil, géranium, menthe anglaise, anis vert, badiane, gaultheria, moutarde, girofle, cannelle, amandes amères, pour ne parler que de celles que j'ai essayées) ne réussissent bien ni sur le mercure purifié, ni sur l'autre. La térébenthine et le pétrole même s'étendent avec une telle lenteur que les anneaux mettent des heures à se développer, tandis que l'alcool et l'éther ordinaires donnent, au contraire, beaucoup trop rapidement des anneaux très pâles et très fugitifs. Les autres alcools, méthylique, propylique, butylique, amylique, ne donnent rien, non plus que les éthers acétique, oxalique, chlorhydrique chloré, œnanthique, benzoïque. Par contre, une trace de ce dernier donne au mercure, avec la propriété de se diviser en nombreuses gouttes irrégulières, celle de reproduire, sous l'influence de l'haleine, des chatoiements opalins d'une très grande vivacité si on les observe à la lumière directe, sur fond noir.

D'autres liquides volatils enfin, le sulfure de carbone, le chlo-

roforme, le chloral anhydre, la benzine, les acides chlorhydrique, acétique, formique, etc., essayés à l'état pur au point de vue spécial des anneaux, ne donnent rien ou presque rien. C'est avec le collodion, en dernier lieu, et avec des vernis, que j'ai obtenu les résultats les plus intéressants. L'éther légèrement collodionné dépose en effet sur le mercure des pellicules qu'on en peut détacher facilement après avoir réglé leur finesse et leurs couleurs pour ainsi dire à volonté, ce qui permet de reprendre avec beaucoup de facilité les remarquables expériences que M. Gripon avait instituées à force d'habileté, mais avec beaucoup de peine, en détachant ces pellicules de la surface du verre. Ici le relèvement des membranes ou leur transport sur papier ne présente aucune difficulté, et l'on arrive, avec un peu d'habitude, à éviter les froncements très réguliers qui se produisent presque toujours et auxquels sont dus, sans doute, les magnifiques tons rouges et verts, veloutés comme ceux de certains cristaux dichroïques de platinocyanure, que prennent, comme teintes complémentaires, les anneaux vus sur fond noir.

D'ailleurs, ces plissements n'existent plus du tout si l'on emploie, au lieu de collodion, des teintures alcooliques très étendues de certains vernis industriels pour métaux : on obtient ainsi une adhérence parfaite, en toutes dimensions, sur carton préalablement verni, et nul doute qu'on ne puisse produire, avec quelques tâtonnements, des figures aussi belles et plus faciles à démontrer que par la gravure sur mica.

SÉANCE DU 19 DÉCEMBRE 1879.

PRÉSIDENCE DE M. CH. PLOIX.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Ehrhart (Théophile), pharmacien à Besançon ;
Thollon, à Paris.

M. Napoli décrit et fait fonctionner sous les yeux de la Société la lampe électrique de Werdermann du nouveau modèle qu'il a imaginé.

M. Reynier élève à cet égard une réclamation de priorité.

M. Tholhon expose ses recherches sur l'étude des protubérances à l'aide des spectroscopes à très grande dispersion.

M. Henry Becquerel présente l'appareil qui lui a servi pour l'étude de la polarisation atmosphérique et l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère.

Taches et protubérances solaires observées avec un spectroscope à très grande dispersion; par M. Thollon.

Depuis une vingtaine d'années, les spectroscopistes de tous es pays ont fait d'innombrables observations sur le Soleil. De toutes ces observations, les premières seulement nous ont fourni des déductions certaines; les autres ne se prêtent qu'à des interprétations contestables et contestées. On a dessiné un nombre prodigieux de protubérances; on sait qu'elles sont formées d'hydrogène incandescent, mais on ne connaît pas leur raison d'être, leur mode de formation, la limite extrême qu'elles peuvent atteindre. On a dessiné également un très grand nombre de taches; on possède sur leur périodicité, sur leur distribution à la surface du Soleil, des données précieuses, sans doute, mais on ne sait pas encore ce que c'est qu'une tache. Ces phénomènes si remarquables demandent à être étudiés dans des conditions différentes, qui nous permettent de voir plus et mieux.

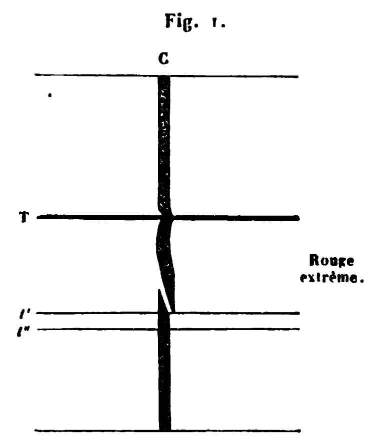
Le spectroscope, auquel la Physique solaire est redevable des progrès décisifs qu'elle a faits dans ces derniers temps, est destiné sans doute à lui rendre de nouveaux services, mais à la condition que les savants ne dédaigneront pas de s'occuper de son perfectionnement. Nous n'aurons vu tout ce qu'il peut nous montrer dans le Soleil que le jour où on lui aura fait acquérir son maximum de puissance.

L'instrument que j'ai eu l'honneur de présenter au mois de juin dernier n'atteint certainement pas à cette limite, mais il en ap-

proche plus qu'aucun autre. A ce titre, l'application qui peut en être faite aux phénomènes solaires offre un intérêt tout particulier. Il m'a permis, en premier lieu, de faire un dessin du spectre solaire incomparablement plus complet que tous ceux qui ont été publiés jusqu'à ce jour : il contient deux mille quatre cents raies de plus que les Tables d'Angström. L'étude des taches et des protubérances exigeait une installation et des ressources qui me faisaient complètement défaut; le tout m'a été offert avec la plus grande bienveillance à l'Observatoire de Paris par son savant directeur.

Mon premier soin fut de vérifier, par de nombreuses expé-

Fig. 1.

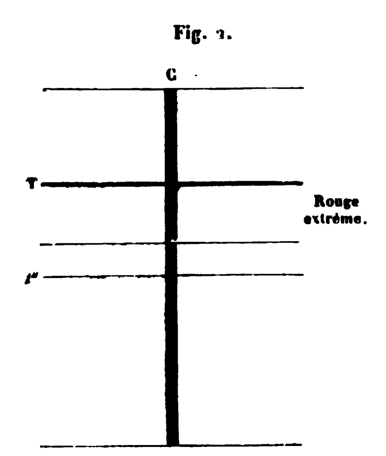


Taches observées le 2 octobre 1879. Bord occidental du Soleil.
Observatoire de Paris.

riences sur le Soleil, la loi du déplacement des raies dû au mouvement de la source lumineuse, les résultats obtenus ne me laissant aucun doute sur la réalité de cette loi. Je me suis appliqué à l'observation des taches et des protubérances. La *fig.* 1 représente la raie C dans une région de petites taches où la chromosphère était dans une violente agitation. La raie y était contournée, élargie par places, interrompue même par une bande lumineuse qui la traversait obliquement; elle se résolvait en espèces de granulations très visibles, très irrégulières, que la gravure sur bois ne peut pas reproduire. La particularité la plus importante était présentée par la tache T; quand elle passait sur la fente, la raie C était brusquement déviée du côté du rouge. La *fig.* 2 donne lieu

aux mêmes observations; seulement la gravure n'a pas suffisamment accentué les déviations. Il me paraît important de constate que tous les déplacements de raie que j'ai observés jusqu'à présent dans les taches ont toujours été de même sens et semblent indiquer un mouvement de la périphérie au centre.

Fig. 2.



Taches observées le 8 octobre 1879. Bord oriental du Soleil.
Observatoire de Paris.

Dans les rares instants où le ciel s'est trouvé d'une pureté suffisante, les protubérances se sont montrées avec un éclat et une netteté de contours que je ne leur ai pas vus à Rome avec l'appareil du P. Secchi. Celle que représente la *fig.* 3 a été observée le 9 octobre vers le pôle sud. Elle était très brillante et d'une grande netteté; elle avait environ 1',5 de hauteur. Les deux dessins de la *fig.* 4 se rapportent à une autre protubérance, le premier (*a*) telle qu'elle était le 26 octobre à $10^h\,25^m$ du matin, le deuxième (*b*) à $2^h\,45^m$ du soir de la même journée. Le matin, sa hauteur comprenait à peu près trois fois la largeur de la fente, qui était de $0^m,002$. Le diamètre de l'image du Soleil formée par une lentille à long foyer étant de $0^m,072$, on a pour la hauteur de la protubérance près de 3', environ 100000^{km}.

La théorie sur laquelle repose l'observation spectroscopique des protubérances démontre que ces phénomènes se voient d'autant mieux dans leurs détails et leurs dimensions que le spectroscope employé a un pouvoir dispersif plus considérable. La puissance de

l'instrument n'a pas pour effet d'amplifier les images, comme dans

Fig. 3.

Rouge extrême.

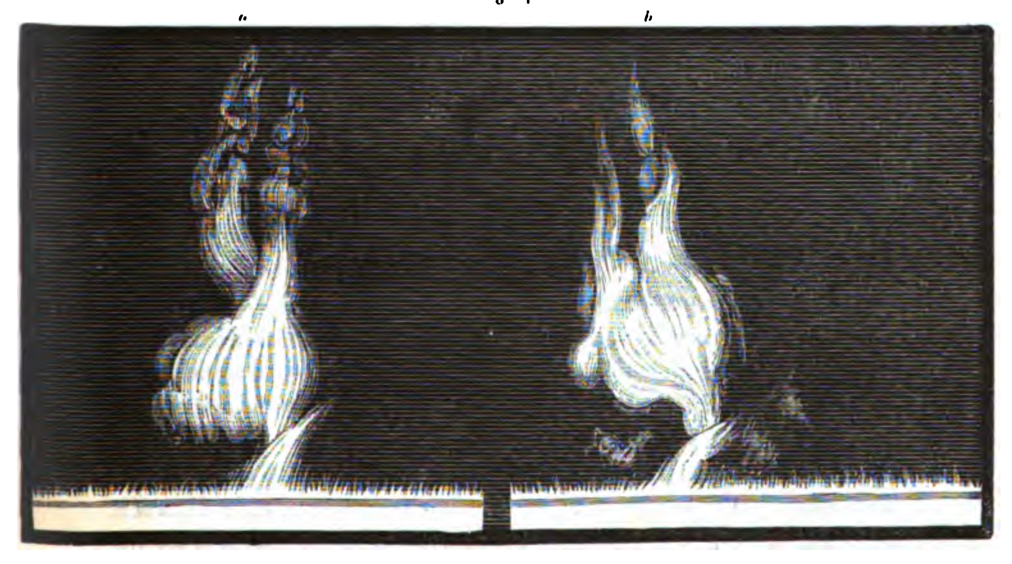


Violet. A

le microscope et la lunette, mais elle rend visibles des portions de protubérances qui échappent absolument à l'observation quand

Fig. 4.

a b

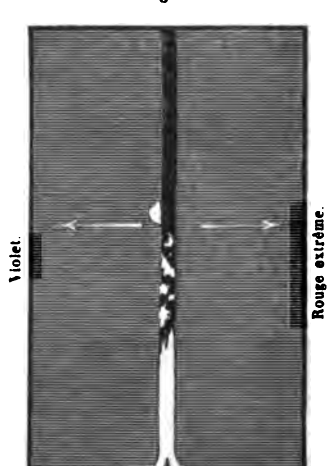


elle est plus petite. Aussi les mêmes protubérances observées avec des instruments de pouvoirs différents n'offrent-elles plus le même

aspect, ni surtout les mêmes dimensions. Les instruments à grande dispersion peuvent donc seuls nous donner une idée à peu près exacte du phénomène.

Sans insister sur les détails, j'appellerai l'attention sur une particularité de la *fig.* 3. En A la fente se trouve débordée par une sorte de cône très lumineux, que j'ai pu observer pendant plus d'une heure et demie. La *fig.* 5 présente un phénomène tout semblable. Une protubérance très brillante, observée seulement avec la fente étroite, illuminait très vivement cette fente; dans sa partie

Fig. 5.



supérieure elle présentait de nombreuses solutions de continuité; à son sommet, la raie C restait obscure dans toute sa largeur et l'illumination se produisait à côté, tout à fait en dehors.

Dans l'état actuel de la Science, de semblables effets ne peuvent s'expliquer que par les mouvements de l'hydrogène incandescent. Mais les deux déplacements observés sont si considérables et impliquent des vitesses si prodigieuses, qu'il reste des doutes sur la réalité de la cause. La *fig.* 5 nous montre en effet un mouvement d'au moins 25^{km} par seconde, se produisant à une grande distance de la surface du Soleil et normalement à la direction de l'un de ses diamètres. En admettant une force capable de produire de telles vitesses, dans le cas actuel, où serait son point d'appui? Si c'était

dans les masses gazeuses elles-mêmes, il se produirait dans ces masses un mouvement en sens inverse qui se serait révélé par une déviation du côté opposé de la raie C. Or il ne s'est rien montré de semblable. La durée du phénomène n'est pas moins surprenante que le phénomène lui-même.

Néanmoins, si l'on considère d'une part que ces grands déplacements ne s'observent que dans les raies de l'hydrogène, d'autre part que la Thermodynamique attribue aux molécules de ce gaz une vitesse moyenne de 2300^m à la température ordinaire, les vitesses qu'il faudrait admettre ne paraissent plus aussi excessives. Comme en outre le spectre de l'hydrogène ne s'obtient qu'à l'aide de l'électricité, il y a lieu d'espérer que la théorie de M. Cornu se vérifiera et expliquera d'une manière satisfaisante ces intéressants phénomènes.

Sur la polarisation atmosphérique et l'influence du magnétisme terrestre sur l'atmosphère; par M. Henri Becquerel.

Les physiciens qui après Arago se sont occupés de la polarisation atmosphérique, et parmi lesquels on peut citer Babinet et Brewster (¹), ont admis que le plan de polarisation de la lumière envoyée par un point quelconque du ciel passait par le Soleil ou était perpendiculaire à un plan passant par cet astre. Nous avons été conduit à penser que cette coïncidence ne devait pas exister généralement, et nous nous sommes proposé d'étudier la polarisation atmosphérique à ce nouveau point de vue, en déterminant avec précision les positions relatives du Soleil et du plan de polarisation de la lumière envoyée par l'atmosphère dans une direction quelconque.

Imaginons à chaque instant un plan passant par l'œil de l'observateur, le point visé et le centre du Soleil. Ce plan, que nous appellerons *plan du Soleil,* nous a servi de plan de comparaison, et nous avons déterminé à un même instant, sur un même cercle divisé, sa trace et la trace du plan de polarisation de la lumière

(¹) Nous citerons également MM. Wheatstone, Quetelet, Delezenne, Rubenson, F. Bernard, Liais et Hagenbach.

envoyée dans une direction perpendiculaire au plan du cercle. L'angle des deux traces mesure l'angle des deux plans. L'appareil que nous avons combiné pour ces déterminations est décrit avec détail dans le Mémoire cité plus haut.

La position du plan de polarisation était obtenue au moyen d'un polariscope de Savart, en observant la disparition des franges, détermination qui peut se faire avec une grande exactitude. Le polariscope était monté au centre d'un cercle divisé, par l'intermédiaire d'un tube en cuivre mobile autour de son axe. A l'extrémité de ce tube, une disposition spéciale permettait d'observer l'ombre d'un point situé sur l'axe optique de l'appareil. On pouvait ainsi amener un plan invariablement lié à l'alidade du cercle divisé à coïncider avec le plan que nous avons appelé le *plan du Soleil* et déterminer la position de la trace de ce plan sur le cercle divisé.

L'appareil était disposé de façon à pouvoir s'orienter dans une direction quelconque.

Les éléments à mesurer varient incessamment par le fait du mouvement de la Terre; on a noté l'heure de chaque observation, et les nombres à comparer entre eux ont été déduits de courbes convenablement tracées.

Depuis deux ans nous avons accumulé de nombreuses observations, qui conduisent, entre autres, aux conclusions suivantes, relatives à un ciel sans nuages.

Le plan de polarisation de la lumière envoyée par un point du ciel ne passe pas généralement par le Soleil; l'angle que fait ce plan avec le plan du Soleil est variable d'un instant à l'autre et toujours tel que le plan de polarisation passe un peu au-dessous du Soleil, entre cet astre et l'horizon.

Lorsque l'on vise un point situé soit vers le nord, soit vers le sud, près de l'horizon, l'angle des deux plans est d'abord assez petit le matin; il augmente jusqu'à un maximum vers 9^h à 10^h, s'annule vers midi, augmente de nouveau jusqu'à un maximum vers 2^h ou 3^h, diminue ensuite et paraît devoir s'annuler près du coucher du Soleil.

On a reconnu que, si l'on était à l'abri de toute perturbation, la coïncidence des deux plans devrait avoir lieu au lever et au coucher du Soleil et au moment où cet astre passe dans le plan ver-

tical du point visé. Au zénith, l'expérience vérifie que l'angle des deux plans est toujours sensiblement nul.

Vers l'est ou vers l'ouest on ne trouve généralement pas de coïncidence des deux plans considérés, mais on reconnaît l'existence d'un minimum vers midi. Le matin et le soir, près de l'horizon, l'angle du plan du Soleil et du plan de polarisation est assez grand : il atteint jusqu'à 6° dans nos expériences, mais le voisinage des points neutres apporte des perturbations qui n'ont pas permis de suivre la marche de la polarisation près du lever et du coucher du Soleil.

Voici, comme exemple, quelques-uns des nombres que nous avons obtenus :

Observations faites à la Jacqueminière (Loiret). (Latitude, 48° 0'.)

Date.	Heure du chronomètre.	Position du plan du Soleil.	Position du plan de polarisation.	Angle des deux plans.
Près de l'horizon sud. (Dist. zénith. app. = 85°.)				
	h m s	° ′	° ′	° ′
12 août 1879..	7.55.25 M.	209.42	209. 2	—0.40
»	10.23.18	240.40	239. 8	—1.32
»	12.23.48	275. 8	275. 6	—0. 2
»	2.46.12 S.	313.25	315.53	+2.28
11 août.......	3.50.30	326.18	329.18	+3. 0
»	5.27. 7	342.50	344.39	+1.49
»	6.26. 0	351.19	352.28	+1. 9

Le 12 août, le midi vrai est à 11h 55m 26s. Le Soleil passe au plan vertical du point visé à midi 1m.

Observations à l'est. (Dist. zénith. app. = 85°.)				
12 août 1879 .	9.50.43	301.28	304.47	+3.44
»	1. 2.20	302.42	303.31	+0.49
»	3.56.59	291.10	296.11	+5. 1
Observations à l'ouest. (Dist. zénith. app. = 83°.)				
12 août 1879..	9.14.21 M.	64.28	63.13	—1.15
» ...	3.15.52 S.	60 33	54.37	—5.56

NOTA. — Le signe + indique le sens direct, le signe — le sens rétrograde.

Observations faites à Châtillon-sur-Loing (Loiret). (Latitude, 47° 59′ 22″.)

Près de l'horizon nord. (Dist. zénith. app. = 86° 27′.)

	h m s	° ′	° ′	° ′
4 sept. 1879 .	8.37.14	142. 1	143.43	+1.42
»	9.28.18	130. 4	132.12	+2. 8
»	12. 4.45	84.44	84.51	+0. 7
»	1.24.32	60.58	60. 9	−0.49
»	3. 9.25	34.55	33.41	−1.14

Le midi vrai est à 11^h 51^m 13^s. Le Soleil passe au vertical du point visé à 11^h 48^m.

Près de l'horizon ouest. (Dist. zénith. app. = 86° 27′.)

4 sept. 1879..	9.58.17	53.26	52.21	−1 15
»	12.27.22	48.34	47.50	−0.44
»	1. 4. 7	47.49	46.42	−1. 7
»	2 44. 8	46.42	42.56	−3.46

La grandeur et les heures des maxima et des minima varient avec les saisons et la hauteur du Soleil aux heures correspondantes.

Pour un point situé en dehors des régions que nous venons d'indiquer, les phénomènes décrits plus haut se superposent en partie, et il en résulte une variation de l'angle des deux plans parfois assez complexe.

Les résultats qui précèdent sont relatifs à la lumière blanche qui traverse le polariscope. Nous avons observé que les rayons de diverses couleurs venant d'une même direction n'ont pas le même plan de polarisation. Ces divers plans varient et par rapport au Soleil et les uns par rapport aux autres, le plan de polarisation des rayons rouges étant en général, dans nos expériences, plus près du Soleil que le plan de polarisation des rayons bleus.

Les variations de l'angle du plan du Soleil et du plan de polarisation peuvent s'expliquer en admettant que dans une direction déterminée l'atmosphère réfléchit tous les rayons qu'elle reçoit, non seulement ceux qui viennent du Soleil, mais aussi ceux qu'envoient l'atmosphère et la Terre elle-même, qui est éclairée.

Nous examinons, dans le Mémoire cité plus haut, les hypothèses que l'on peut faire à ce sujet.

On vient de voir que le plan de polarisation devrait coïncider avec le plan du Soleil lorsque celui-ci est vertical. Or, si l'on vise un point situé près de l'horizon, vers le nord, vers le sud ou mieux près du méridien magnétique, au moment où le plan du Soleil est vertical, le plan de polarisation est dévié d'un petit angle vers l'est, et la coïncidence des deux plans n'a jamais lieu qu'après le passage du Soleil au plan vertical du point visé. Tout se passe comme si le plan de polarisation subissait une rotation dans le sens direct pour un observateur qui aurait la tête vers le nord et les pieds vers le sud.

Voici quelques-uns des nombres observés :

Points visés.	Distance zénithale apparente.	Rotation observée.	Erreur possible.
	° ′	° ′	′
Horizon sud...........	85. 0	0.22	± 5
Horizon nord...........	86.27	0.24	± 5
Méridien magnétique sud..	85.20	0.42	±12
	87.27	0.59	±15

Dans une région perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison, la rotation a été trouvée sensiblement nulle.

Le sens de cette rotation conduit à penser qu'elle est due à l'influence du magnétisme terrestre.

Dans un travail qui n'est pas encore terminé ([1]), nous avons montré comment on pouvait mesurer le pouvoir rotatoire magnétique de certains gaz, notamment l'air, à la température et à la pression ordinaires, et nous avons mesuré, d'autre part ([2]), quelle était la rotation du plan de polarisation d'un rayon lumineux traversant une colonne de sulfure de carbone liquide, soumise à l'influence magnétique de la Terre. Les nombres trouvés permettraient de calculer *a priori* la rotation dont il est question ici, à la condition de connaître les distances d'où nous viennent les rayons

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVIII, p. 709, et *Journal de Physique*, t. VIII, p. 198.

([2]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXXVI, p. 1075.

lumineux que nous étudions. On ne possède aucune donnée sur ces distances; cependant, en faisant diverses hypothèses sur les épaisseurs atmosphériques qui peuvent être traversées par la lumière et en s'appuyant sur les nombres que nous avons donnés, nous avons calculé approximativement les rotations magnétiques limites que l'on pourrait observer sous l'influence terrestre. Les rotations ainsi calculées sont de l'ordre de grandeur des nombres observés. Leur valeur est trop faible pour que l'on puisse conclure de nos expériences que l'influence magnétique de la Terre soit la seule cause de la rotation observée; toutefois, cette influence semble bien manifeste.

En résumé, le présent travail nous a conduit à reconnaître plusieurs faits nouveaux :

1° L'existence d'un angle variable entre le *plan du Soleil* et le plan de polarisation de l'atmosphère en un point quelconque;

2° La variation périodique de cet angle, qui pour un même point visé, dans le cours d'une journée, présente des maxima et des minima; ce phénomène semble lié aux conditions variables d'illumination de l'atmosphère lorsque le Soleil s'élève ou s'abaisse sur l'horizon;

3° La manifestation d'une influence magnétique de la Terre sur l'atmosphère, influence à laquelle on peut attribuer une petite rotation du plan de polarisation de la lumière.

CATALOGUE

DE

LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1874 à 1879), in-4°.

Annales de Chimie et de Physique (1873 à 1879), in-8°.

Annales de l'École Normale supérieure (2e série, 1873 à 1879), in-4°.

Annales télégraphiques (3e série, 1874 à 1879), in-8°.

Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (1874 à 1877), in-4°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1879), in-8°.

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1874 à 1879), in-8°.

Annuaire météorologique et agricole de l'Observatoire de Montsouris (1873 à 1880), in-18.

L'Aéronaute (juillet 1877 à décembre 1879), in-8°.

Société de Biologie (1869 à 1872), in-8°.

Annuaire de la Société d'Encouragement (1877).

Comité météorologique de l'Ouest méditerranéen (Bulletin du département de l'Hérault, 1874 à 1878), in-4°.

Proceedings of the Royal Society (t. XXIII, nos 156 à 159; t. XXIV à XXIX, nos 164 à 196, 36 livr.), in-8°.

Philosophical Magazine (1873 à 1879), in-8°.

Annales de Poggendorff (1873 à 1879), in-8°.

Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (1875, depuis le n° 5, à 1879), in-8°.

Journal of the Society of Telegraph Engineers (1872 à 1877), in-8°.

The Physical Society of London. Proceedings (mars 1874 à octobre 1879), in-8°.

Fortschritte der Physik (1845 à 1875, t. I à XXXI), in-8°, table des t. I à XX.

Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano (1877 à 1879), in-4°.

Rivistà scientifico-industriale, compilata per M. *G. Vimercati*, anno V (janvier à mai 1873).

Crónica cientifica de Barcelone (1878, t. I), in-8°.

Œuvres complètes d'Augustin Fresnel, publiées par MM. *Henri de Senarmont*, *Émile Verdet* et *Léonor Fresnel*, 3 vol. in-4°, 1861.

Œuvres de E. Verdet, publiées par les soins de ses élèves, 9 vol. in-4°, 1869.

Œuvres de L. Foucault. 1 vol. avec planches (1878).

Bulletin trimestriel des publications de la librairie Gauthier-Villars (3e et 4e trim. de 1877, 1er et 2e trim. de 1878).

Le sucre; par M. *Dubrunfaut*, 2 vol. in-8°.

Musée de Kensington. Handboock to the special Loan Collection of Scientific apparatus, 1 vol. in-8° (1876).

Catalogue of the special Loan Collection of Scientific apparatus at the south Kensington-Museum.

Notice sur Flachat; par M. *Malo*, 1 vol. in-8°.

Discours aux funérailles de M. Regnault; par M. *Jamin* (extrait des *Comptes rendus*).

Notice sur le R. P. Secchi; par MM. *Ferrari* (*S.*) et *Marchetti*, br. in-4°.

Notice sur les travaux de M. Romieu, par M. *Roche*, br. in-4°.

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation (extrait des *Ann. du Conserv. des Arts et Métiers*); par M. le Général *Morin*, in-8°.

Commission internationale du mètre. Procès-verbaux et Séances (1869-1874), 9 broch. in-8°.

Notice sur les objets exposés par le Dépôt des fortifications à l'Exposition universelle (1878); br. in-8°.

Description d'un Baromètre-balance enregistreur; par M. *Crova*, br. in-4°.

Congrès international des sciences géographiques; 2e session (Paris, 1875); Origine et historique du Congrès, broch. in-8°.

Étude sur le mécanisme et la marche des chronomètres; par M. *E. Caspari*, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'élasticité des gaz; par M. *Mendeleeff* (russe, 1875), in-4°.

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau*.

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur (extrait des *Comptes rendus* et des *Mondes*); par M. *F. de Romilly*, br. in-8°.

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi e eggieri; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di meccanica molecolare; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Observation sur le langage mathématique et sur l'enseignement du calcul; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Réforme analytique de la règle de trois ou règle d'or et Notions d'Analyse mathématique d'après Descartes, Pascal et Arnauld; par M. *V. Tilmant*, br. in-8°.

Du calcul des trajectoires, d'après les expériences de M. Bashforth sur la résistance de l'air; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la résistance de l'air sur les projectiles, d'après les expériences d'Athanase Dupré sur l'écoulement des fluides; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur les appareils Marcel Deprez pour la mesure des pressions des gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Notice sur l'intégromètre Marcel Deprez et le planimètre Amsler; par M. *Sebert*, br. in-8°.

De la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre; par M. *Sebert*, br. in-8°.

Statistique des volumes des équivalents chimiques et d'autres données relatives à leurs propriétés physiques. — Mémoire sur quelques questions moléculaires; par M. *G. West*, 1 vol. in-4°.

Mémoire sur la mesure de la chaleur ; par M. *G. West*, br. in-4°.

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *G. West*, br. in-4°.

Notice sur le gazhydromètre Maumené ; par M. *Maumené*, br. in-4°.

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma ; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Ricerche fisico-chimiche sui differenti stati allotropici dell' idrogeno ; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Intorno ad un nuovo apparato per la trasmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell'acqua ; par M. *Antonio Favaro*, br. in-8°.

Notes chimiques et chimico-physiques ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Recherches sur la capillarité dynamique ; par M. *Decharme*, 3 br. in-8°.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules ; par M. *G. West*, br. in-4°.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer ; par M. *Decharme*, br. in-8°.

New determination of the mechanical equivalent of heat; par M. *Joule*, br. in-4°.

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*, in-4°.

Conductibilité de la chaleur dans les minéraux ; par M. *Ed. Jannettaz*, in-8°.

Question de température (concours 1872) ; par M. *Melsens*.

La chaleur solaire et ses applications industrielles ; par M. *Mouchot*, 1 vol. in-8°.

Experiments on the heat conduction in stone based on Fourier's, « Théorie de la chaleur (2e Partie) » ; par *Ayrton* et *John Perry* (Yokohama, 1875), in-8°.

Etude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope ; par M. *J. Salleron*, br. in-8°.

Le moteur hydrothermique ; par M. *F. Tommasi*, br. in-8°.

Sull' azione della cosi detta forza catalitica spiegata secondo la theoria termodinamica; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Application du courant électrique aux recherches de l'état sphéroïdal (en russe); par M. *Heschus*, br. in-8°.

Il termometro e il barometro della Loggia dell'orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Il termometro della Loggia dell'orgagna in Firenze; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Barometro a peso, manometro regolatore e fornello a petrolio; par M. *Sebastiano Zavaglia*, br. in-8°.

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari; par M. *G. Vimercati*, br. in-8°.

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme*.

Sur les vibrations transversales des fils et des lames d'une faible épaisseur (extrait des *Annales de l'École Normale*); par M. *Gripon*, br. in-8°.

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *Gripon*, br. in-4°.

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Sur les courbes dues à la combinaison de deux mouvements vibratoires perpendiculaires; par M. *Terquem*, op. in-4°.

Acoustique et optique des salles de réunion; par M. *Lachèz*, 1 vol., 1879.

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *M. Neyreneuf*, in-8°.

Étude théorique et expérimentale sur les plaques et membranes de forme elliptique; par M. *A. Barthélemy*, br. in-8°.

Le son et la musique, suivi des Causes physiologiques de l'harmonie musicale de M. *H. Helmholtz*, par M. *P. Blaserna*, 1 vol. in-8° relié.

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*, in-8°.

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*, br. in-4°.

Note sur un système d'appareils électro-sémaphoriques (Block-system); par MM. *Lartigue*, *Tesse* et *Prudhomme*, br. in-4°.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (thèse); par M. *Mouton*, in-4°.

Note sur la théorie du téléphone; par M. *Navez*.

Réponse aux Observations de M. du Moncel; par MM. *Navez père* et *fils*.

Discussion sur la théorie du téléphone entre MM. *du Moncel* et *Navez*.

Lettre relative à la Note de MM. Navez père et fils sur la théorie du téléphone; par M. *du Moncel*, br. in-8°.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel*, br. in-8°.

Notice sur le coup de foudre de la gare d'Anvers du 10 juillet 1865; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Quatrième Note sur les paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Cinquième Note sur les paratonnerres. Coût des paratonnerres; par M. *Melsens*, br. in-8°.

De l'application du rhé-électromètre aux paratonnerres des télégraphes; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples (Bruxelles, 1877); par M. *Melsens*, 1 vol. in-8.

Note sur un appareil de M. Melsens dit *rhé-électromètre*; par M. *Hervé Mangon*, br. in-4°.

The resistance of galvanometer coils; par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

The resistance of the electric light (Ext. de la Soc. of Eng. Teleg.); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, br. in-8°.

Note on electrolytic polarisation (Extrait); par MM. *Ayrton* et *John Perry*, in-8°.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*, 1 vol. in-8°, relié.

Conférence à propos de la pose du câble de Barcelone; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Construction des câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Télégraphie Duplex; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Transmission des signaux par les câbles; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Le siphon enregistreur de sir W. Thomson; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Réparations des câbles sous-marins; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-8°.

Sur la déperdition de l'électricité dans les gaz, par M. *Bobileff* (en russe), br. in-8.

Sur la déperdition de l'électricité sur les conducteurs composés de parties différentes (en russe); par M. *Bobileff*, br. in-8.

Résistance galvanique des charbons sous diverses températures (en russe); par M. *Bergman*, br. in-8°.

Sur une application de l'éclairage électrique faite à la filature du Champ-du-Pin; par M. *Grosseteste*, br. in-4°.

Machina dielettrica; par M. *F. Cecchi*, br. in-8°.

Sopra la ripostà del sig. prof. Giovani Cantoni all'osservazioni fatte al suo lavoro sull'elettroforo e la polarizzazione elettrostatica; par M. *Alberto de Eccher*, br. in-8°.

The electrical properties of Bee's-Wax and lead chloride (Extrait du Philos. Mag.); par M. *Ayrton*, br. in-8°.

Sopra un' azione ponderomotrice interna della corrente ellettrica; par M. *Roiti*, br. in-8°.

The resistance of the arc of the electric ligth; by *Ayrton* and *John Perry*, br. in-8°.

Note on electrolytic polarisation; by *Ayrton* and *John Perry*, br. in-8°.

Précis instrumental et thérapeutique; par M. *Tripier*, br. in-8°.

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés, par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Recherches sur l'induction unipolaire, l'électricité atmosphérique et l'aurore boréale; par M. *Edlund*. br. in-4°.

Théorie des phénomènes électriques; par M. *Edlund*. br. in-4°.

Recherches sur la force électromotrice dans le contact des métaux et sur la modification de cette force par la chaleur; par M. *Edlund*, br. in-4°.

Some electrical experiments, with crystalline selenium; par *Robert Sabine*.

Sui rapporti della pioggia con le pierre dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Filicie Matteucci ; par M. *G. Govi*, br. in-8°.

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente ; par M. *Glisenti*, br. in-8°.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle; par M. *Grisenti*, br. in-8°.

Expériences pratiques de la boussole circulaire faites à bord des navires de l'État et de la marine marchande (6e, 7e et 8e édit.); par M. *Duchemin*, 3 br. in-4°.

Mesure de l'intensité calorifique de la radiation solaire en 1874 ; par M. *Crova*, br. in-4°.

Le photomètre électrique (en russe); par M. *Egoroff*, br. in-8°.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique ; par M. *Gripon*, br. in-8°.

Rapport sur la construction des appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault et en particulier sur une balance à marteau automatique de M. Deleuil; par M. *Le Blanc* (*Félix*), br. in-4°.

Détermination de la vitesse de la lumière d'après les expériences exécutées en 1874 entre l'Observatoire et Montlhéry; par M. *Cornu*, 1 vol. in-4°.

Recherches sur la persistance des actions sur la rétine ; par M. *Melsens*, br. in-8°.

Les prismes polarisateurs (en russe) ; par M. *Bobileff*, br. in-4°.

Les spectres de la chlorophylle; par M. *Chautard*, br. in-8°.

Una Lettra inedita del principe Leopoldo de Medici; par M. *Govi*.

Di alcune nuove camere lucide; par M. *Govi*, br. in-4°.

Intorno agli specchi magici dei Cineti ; par M. *Govi*.

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cineti ; par M. *Govi*.

Illusions astronomiques; par M. *Schwedoff*, br. in-8°.

Azione dei raggi solari sui composti alcidi d'argento; par M. *Donato Tommasi*, br. in-8°.

Description et emploi du télémètre de poche à double réflexion ; par M. *Gaumet*, br. in-8°.

The mirror of Japan and its magic quality; by *Ayrton*, br. in-8°.

The magic mirror of Japan; by *Ayrton* and *J. Perry*, br. in-8°.

Anneaux colorés produits à la surface du mercure; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Exposé élémentaire des découvertes de Gauss et de Listing sur les points cardinaux des systèmes dioptriques centrés; par M. *A. Guébhard*, br. in-8°.

Météorologie nautique; vents et courants (1874); par MM. *Ploix* et *Caspari*, br. in-4°.

Sulla pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Prodromo di un catalogo fisico delle stelle colorate; par le P. *Secchi*, br. in-4°.

Sulla supposta origine cosmica delle aurore polari; par M. *Govi*, opusc. in-18.

Meteorologica Romana; par M. *Ferrari* (*G.-St.*), br. in-4°.

Température et composition des eaux de la Méditerranée; par M. *A.-L. Ternant*, br. in-18.

Note sur l'organisation des études météorologiques en France; par M. *Goulier*, br. in-8°.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876-1877; par M. *Meurien*.

Observations météorologiques faites à Lille pendant les années 1876 à 1878; par M. *Meurien*.

Illusions astronomiques; par M. *Th. Schwedoff*, b. in-8°,

Théorie mathématique des formes cométaires; par M. *Th. Schwedoff*, br. in-8°.

Contributions à l'étude de la grêle et des trombes aspirantes; par M. *Colladon*, br. in-8°.

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT LES ANNÉES 1877-1879.

Dix éléments Grenet; donnés par M. *Ducretet*.
Lanterne de M. Duboscq; donnée par M. *de Romilly*.
Appareil à projection; donné par M. *J. Duboscq*.
Lampe d'émailleur; donnée par M. *Wiesnegg*.
Gazomètre en cuivre; donné par M. *Wiesnegg*.
Rhé-électromètre; donné par M. *Melsens*.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1880.)

BUREAU.

MM. Mascart, *Président.*
Cornu, *Vice-Président.*
D'Almeida, *Secrétaire général.*
Lippmann, *Secrétaire.*
Duphet, *Vice-Secrétaire.*
Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. Becquerel (Ed.), 1878.
Cavaillé-Coll.
Joubert.
Mascart.

Bergon, 1879.
Bischoffsheim.
Dumoulin-Froment.
Jamin.

Janssen, 1880.
Ste-Claire Deville (H.).
Salet.
Sebert.

Membres non-résidants :

MM. Abria (Bordeaux), 1878.
Cailletet (Châtillon-sur-Seine).
Lissajous (Besançon).
Warren de la Rue (Londres).

Lecoq de Boisbaudran (Cognac), 1879.
Violle (Lyon).
Rossetti (Padoue).
Ternant (Marseille).

Bichat (Nancy), 1880.
Govi (Naples).
Gripon (Rennes).
Schwedoff (Odessa).

MEMBRES HONORAIRES.

Billet, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
Broch (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania.
Fizeau (A.-H.-L.), Membre de l'Institut.
Joule (J.-P.), de Manchester.
Plateau (J.), de Gand.
Stokes (G.-G.), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir William Thomson, F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow.

MEMBRES A VIE [1].

MM. Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, 31, rue Bonaparte.
Warren de la Rue, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Mascart, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle de Saint-Germain.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
Niaudet, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 120, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres, 41, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
Gernez, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
Duboscq, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.
Duclos, Directeur de l'École Normale de Barcelonnette (Basses-Alpes).
Blavier, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
Hugo (Comte Léopold), 94, rue de la Victoire.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), 34, rue Neuve-des-Mathurins.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

---

[1] Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. IV, dernier paragraphe.)

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue des Feuillantines.

BARDY, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue Grenelle-Saint-Germain.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.

MUIRHEAD (Dr Alexandre F. C. S.), 159, Cambden Road (Londres).

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

BLONDLOT, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, à la Sorbonne.

GUEBBARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 45 *bis*, rue Peronnet (Neuilly-sur-Seine).

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

LIPPMANN, Maître de conférences à la Sorbonne, 45, rue des Feuillantines.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (HENRI), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

BORDET (LUCIEN), ancien élève de l'École Polytechnique, 121, boulevard Haussmann.

ABBADIE (D'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).

ALEXIS (Ferdinand-Marius), Commis principal au Bureau télégraphique central (Marseille).

ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

ALMEIDA (d'), Inspecteur général de l'Instruction publique, 31, rue Bonaparte.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANDREWS, Fortwilliam Park, Belfast (Irlande).

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 82, rue de Grenelle Saint-Germain.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.

ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 157, avenue d'Eylau.

ARNAUD, Notaire à Barcelonnette (Basses-Alpes).

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

AUBRY, Professeur au Collège d'Avallon.

AUBRY, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Nancy.

MM.

AUGUEZ (**Émile**), Inspecteur des contributions indirectes, 60, faubourg Saint-Vincent, à Orléans.

AYLMER (**John**), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Répétiteur à l'École d'agriculture de Grignon.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.

BAILLY, Professeur au Lycée de Pau.

BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Neuve-Fontaine Saint-Georges.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue Malesherbes.

BARON, Inspecteur général des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.

BARRAU DE MURATEL (**Maurice de**), Membre du Conseil général du Tarn, 51, rue de Varenne.

BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.

BAUDOT, Employé des lignes télégraphiques, 73, rue du Cherche-Midi.

BEAU (**Henri**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 34, rue du Faubourg-Poissonnière.

BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, 65, boulevard Saint-Michel.

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 57, rue Cuvier.

BEDOS, Professeur au Lycée de Montpellier.

BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Serein (Yonne).

BELLOT (**Jules**), Manufacturier à Loches (Indre-et-Loire).

BENEVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGON, Administrateur des lignes télégraphiques, 56, rue Madame.

BERTHELOT, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

BERTHEREAU (**Édouard**), Préfet de l'Hérault.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collège de Tulle.

BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.

BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 6, rue de Seine.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), 34, rue Neuve-des-Mathurins.

BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.

BLIN (**Gaston**), Sous-lieutenant d'Infanterie, au 95e de ligne, à Bourges.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, à la Sorbonne.

BOBILEFF, Docent de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

MM.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe (Passy).

BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'Administration générale des lignes télégraphiques.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 121, b. Haussmann.

BORGMAN, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de St-Pétersbourg (Russie).

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon, 1, rue Cazault.

BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 42, rue Lhomond.

BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.

BOURSEUL, Directeur des Postes et Télégraphes, à Cahors.

BOURGET, Recteur de l'Académie d'Aix.

BOUSQUET, Maître adjoint à l'École Normale de la Sauve (Gironde).

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.

BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.

BRANLY, Professeur à l'Université catholique, 49, rue Gay-Lussac.

BREGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.

BREGUET (**Ant.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue de Savoie.

BREWER fils, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRILLOUIN, Préparateur-agrégé au Collège de France, 48, rue Pergolèse.

BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, cité d'Antin.

BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Sainte-Catherine-d'Enfer.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne, rue du Temple, à Enghien.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue Denfert-Rochereau.

BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège).

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Diret Spanish Telegraph à Barcelone (Espagne).

BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.

BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUISSON, Ingénieur, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (**G.**), Lieutenant de Vaisseau, 11, rue Bernoulli.

CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.

CADIAT, Ingénieur de la Société du Val d'Osne, 24, rue Meslay.

CAEL, Inspecteur des Télégraphes, 218, boulevard Saint-Germain.

CAILLETET, Correspondant de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine.

CALEMARD DU GENESTOUX, Lieutenant-Colonel d'Artillerie, 38, rue du Luxembourg.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, 128, rue Bonaparte.

MM.

CASALONGA, 15, rue des Halles.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CHABRERIE, Professeur au Collège de Brives.
CHARLES. Directeur des ateliers de l'Administration des Lignes télégraphiques, 24, rue Bertrand.
CHARLIER, Professeur au Collège de Dunkerque.
CHARLON, Directeur de la *Confiance*, 2, rue Favart.
CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.
CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.
CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor (Rio de Janeiro).
CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CLAVERIE, Professeur au Lycée d'Angoulême.
CLERAC, Sous-Inspr des Lignes télégraphiques, 103, rue de Grenelle-St-Germain.
COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue des Feuillantines.
CORNU, Membre de l'Institut, 38, rue des Écoles.
COUHIN (**Claude**), Avocat à la Cour d'Appel, 89, rue de Rennes.
COULIER, Pharmacien inspecteur des armées, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 72, boulevard Saint-Michel.
COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.
CROIX, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).
CROS (**Ch.**), 21, rue de l'Odéon.
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DAGUENET, Professeur au Lycée de Grenoble, 14, rue Vicat.
DAGUIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.
DALMAU, Ingénieur, 9, Rembla del Centro, à Barcelone (Espagne).
DAMIEN, Professeur au Lycée, à Lille, 2, rue de la Louvière.
DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine
DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.
DECLERC, Professeur au Collège de Langres (Haute-Marne).
DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.
DELESTRÉE, Inspecteur d'Académie, à Nice.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée d'Orléans, 4, rue Jeanne d'Arc.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DENAYROUZE (**L.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 9, rue Chauchat.
DEPREZ (**Marcel**), Ingénieur, 15, rue Champollion.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boul. Saint-Michel.

MM.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 7, boulevard des Capucines.
DESPRATS, Professeur au Collège de Millau (Aveyron).
DIENHEIM BROCHOCKI (Comte Th. de), Ingénieur civil, 6, rue Richepanse.
DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes du département des Deux-Sèvres, à Niort.
DOULIOT, Principal du Collège de Langres.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.
DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.
DUCLOS, Directeur de l'École Normale de Barcelonnette (Basses-Alpes).
DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue des Feuillantines.
DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, carrefour de l'Observatoire.
DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 60, rue des Tournelles.
DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

EHRHART (Théophile), Pharmacien, 5, rue Battant, à Besançon.
EICHTHAL (baron d'), 98, rue Neuve-des-Mathurins.
EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).
EGOROFF (Nicolas), au Cab[t] de Phys. de l'Université, St-Pétersbourg (Russie).
ÉLIE, Professeur au Collège d'Abbeville, 37, rue des Teinturiers.
ESTRADA (Francisco), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FAURE, Ingénieur, The Cotton Powder C° Limited, var Works, à Faversham (Angleterre).
FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 104, rue du Bac.
FAYE, Membre de l'Institut, 6, rue de la Pompe, Passy-Paris.
FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 79, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FONTAINE (Hippolyte), 15, rue Drouot.
FONTBONNE (l'abbé), au château de Gourdan, par Annonay (Ardèche).
FOURNIER (Félix), 115, rue de l'Université.
FRIDBLATT (A.), Contrôleur du Télégraphe, à Chaumont (Haute-Marne).
FRIEDEL, Membre de l'Institut, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 60, rue Grenelle Saint-Germain.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GAR[illegible], [illegible]éparateur de Physique à l'École Normale supérieure.

MM.

GARÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthelémy, à Melun.

GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 39, rue Jouffroy.

GARZA (**Pedro**), Vice-Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

GAUGAIN, 1, rue d'Assas.

GAUMET, Lieutenant d'Infanterie, 52, rue Clerc.

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.

GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 27, rue de la Pâture.

GAYON, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, Chimiste en chef de la Douane des sucres, 28, place Pey Berland, à Bordeaux.

GERMAIN (**Pierre**), employé des Télégraphes, à Royat-les-Bains.

GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.

GIRARD (**Ch.**), Professeur au Collège Rollin, 9, rue Thenard.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.

GIROUD (**D.**), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôteis.

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.

GOSSART (**Ferdinand**), à Mareuil-sur-Ay (Marne).

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Marseille.

GOTENDORF (**Silvanus**), à Bruxelles (Belgique).

GOUY, Doccteur ès sciences, 5, rue Casimir-Delavigne.

GOULIER, Colonel du Génie, 49, rue Vanneau.

GOVI, Professeur à l'Université de Naples (Italie).

GOWER (**Frédéric**), Ingénieur, 66, rue Neuve-des-Petits-Champs.

GRAMMACINI (**G.-H.-F**), Receveur du Bureau télégraphique central à Marseille.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'usine de l'Indian-Rubber gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kay**), Ingénieur électricien à l'usine de l'Indian-Rubber, gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.

GRIVEAUX, Professeur au Prytanée de la Flèche.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, 23, rue des Vinaigriers.

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.

GUEBHARD, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 45 *bis*, rue Perronet, à Neuilly-sur-Seine.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUEROUT, Sous-Directeur de la maison Ruhmkorff, 15, rue Champollion.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HAFFEN, Capitaine du Génie, 8, rue Saint-Dominique Saint-Germain.

HANRIOT, Professeur de Physique honoraire à la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

MM.

HAUCK (W.-J.), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kellenbrücke Gasse, à Vienne (Autriche).

HESEHUS (N.), Attaché à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HOSTEIN, Professeur au Lycée de Nancy.

HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).

HUGO (**le Comte Léopold**), 94, rue de la Victoire.

HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.

HUGUENY, Prof. à la Faculté des Sciences de Marseille, 4, traverse du Chapître.

HUREAU DE VILLENEUVE (le Dr), 95, rue Lafayette.

HURION, Professeur à l'École normale spéciale de Cluny (Saône-et-Loire).

INFREVILLE (G. d'), Ingénieur à New-York (États-Unis).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

ITSCHNER, Principal du Collège de Béziers.

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 52, rue de Naples.

JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.

JANDEAU, Professeur au Collège de Tourcoing.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 9, rue Mariès, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JAVAL, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle-Saint-Germain.

JENNESSON, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

JÉNOT, Professeur au Lycée de Nancy.

JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOLY, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Besançon.

JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 15, rue Drouot.

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

JOULE (J.-P.), Cliff Point, Higher Broughton, Manchester.

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 26, rue de Pontoise.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

KUHN, Professeur de Physique au Lycée Temesvar (Hongrie).

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie à Bordeaux.

KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 6, rue Cassini.

LACHEZ, Architecte, 113, rue Lafayette.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).

LAFOREST (de), Lieutenant-Colonel du 33e de ligne, à Arras.

LALANCE (**l'Abbé**), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

MM.

LALANDE, Libraire, à Brives.

LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 39 *bis*, rue St-Ambroise, à Melun.

LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

LAMANSKY, Professeur à l'Université de Varsovie (Russie).

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LAMY, Directeur de la Manufacture de caoutchouc, à Chamalières (Puy-de-Dôme).

LAPLAICHE (Alexandre), Commissaire de surveillance administrative des Chemins de fer, à Besançon.

LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.

LATTES (Oreste), Ingénieur à Turin (Italie).

LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Directeur de l'École normale spéciale de Cluny (Saône-et-Loire).

LAWTON (George Fleetwood), electricien de l'Eastern Telegraph, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LE BLANC (Félix), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Directeur de l'Institution Saint-Martin, à Rennes.

LECARME, Professeur au Collège Chaptal, 37, rue de Saint-Pétersbourg.

LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.

LECHATELLIER, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 23, rue du Cherche-Midi.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (François), Correspondant de l'Institut, à Cognac.

LE GAVRIAN (Paul), Ingénieur, 133, boulevard de la Liberté, à Lille.

LEFEBVRE, Lieutenant au 95e d'infanterie, à Bourges.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.

LEMOINE (E.), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.

LEMOINE (G.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

LERMANTOFF, Attaché au Laboratoire du Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte (Corse).

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.

LEVY (Armand), Professeur au Lycée de Troyes.

LIBERT (C.-D), Professeur au Collège de Cholet.

LIPPMANN, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 45, rue des Feuillantines.

LISBONNE (Fernand), Inspecteur de la Compagnie générale transatlantique, 73, boulevard Magenta.

LISLEFERME (de), Ingénieur en retraite, à Taillebourg.

LISSAJOUS, Recteur honoraire de l'Académie de Besançon.

LOIR, Inspecteur des Lignes télégraphiques, à Lyon.

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

MM.

LVOFF (Th.), Secrétaire de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Petersbourg (Russie).

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur au Lycée, 7, rue Saint-Féréol, à Marseille.
MAGNE, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Amiens.
MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 19, rue de Médicis.
MALLEZET, Architecte, 29, rue de Fontenay, à Vincennes.
MANEUVRIER, Agrégé, attaché à l'École des Hautes Études, 20, rue des Écoles.
MANGIN, Lieutenant-colonel du Génie, 18, boulevard des Invalides.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée Fontanes, 52, rue Lemercier.
MAREY, Membre de l'Institut, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle St-Germain.
MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.
MASSE, Professeur au Collège d'Épernay.
MASSON (G.), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.
MAUMENÉ, Professeur à la Faculté catholique de Lyon.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MEAUX (de), Chef de Bureau au Ministère des Postes et Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 29, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.
MÉNIER (Henri), 5, avenue Van-Dyck.
MERCADIER, S.-Inspecteur des télégraphes, 103, rue de Grenelle St-Germain.
MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).
MEURIEN, Pharmacien, à Lille.
MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.
MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.
MOITESSIER (Albert), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.
MONCEL (Comte du), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
MONTEFIORE, 118, rue de Grenelle St-Germain.
MONTEIL (Silvain), Professeur au Collège de Vannes.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MOREL, Maître de conférences à la Faculté de Médecine, à Lille.
MORIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Poitiers.
MORRIS, Inspecteur des Lignes télégraphiques, 83, rue de Rennes.
MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.
MOUCHOT, Professeur au Lycée, à Tours.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 29, boulevard Saint-Michel.

MM.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 47, rue des Feuillantines.

MUIRHEAD (**Dr Alexandre**, F. C. S.), 159, Cambden Road, Londres.

MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regent-Street, Westminster, Londres.

NAPOLI (**David**), Chimiste au chemin de fer de l'Est, 98, rue du Faubourg-Poissonnière.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision 6, rue de Seine.

OGIER (**Jules**), 45, rue de Chabrol.

OLIVIER (**Louis**), Licencié ès Sciences naturelles, 90, rue de Rennes.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée du Havre.

ORDUNA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (**Cte d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 73, boulevard Haussmann.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, sous-chef du cabinet du Ministre des affaires étrangères, 32, boulevard Haussmann.

PARAYRE (**l'abbé**), Licencié ès Sciences physiques, 74, rue de Vaugirard.

PASSOT (**Dr**), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).

PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

PELLAT (**H.**), Professeur au Collège Rollin, 21, rue Monge.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PEREZ DE NUEROS (**Federico**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, 3, rue Bernard, à Dôle.

PERNET (**Dr J.**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.

PERROUD, Préparateur au Lycée Fontanes, rue du Havre.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 31, boulevard Magenta.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro.

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.

POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.

POLLARD, Ingénieur de la Marine, hôtel de l'Aigle, à Cherbourg.

POTIER, Ingénieur des mines, répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur manufacturier à Elbeuf.

POUSSIN (**Louis**), avocat à Saint-Aubin-lès-Elbeuf.

MM.

PRAZMOWSKI, Constructeur d'instruments d'Optique, 1, rue Bonaparte.
PRÉSIDENT (**le**) de la Société de Physique de Londres.
PRÉSIDENT (**le**) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.
PUCHEU, Professeur au Collège de Béziers.
PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.
PUYFONTAINE (**Comte de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 59, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.
RAULX, Receveur des postes et télégraphes, à Aurillac.
RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.
REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.
REGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie à la Sorbonne.
RENARD, Capitaine du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.
REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 22, rue de Montbauron, à Versailles.
REYNIER, Ingénieur électricien, 10, rue des Vosges.
RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 37, rue du Château.
RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des hautes études, 28, rue Saint-Sulpice.
RICHARD, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, à Paris.
RICHET (**Th.**), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 5, rue Bonaparte.
RITTER, Professeur de Chimie à la Faculté de Médecine de Nancy.
RODDE (**Ferd.**), 3, cité Magenta.
RODOCANACHI (**Emmanuel**), 42, avenue Gabriel.
ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.
ROGNETTA (**F.-B.**), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).
ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).
ROISIN (**Paul**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.
ROLLAND (**E.**); Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.
ROMANET, ancien Élève de l'École des Mines, à Bovelles, par Picquigny (Somme).
ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.
ROOSEVELT, Ingénieur, 1, rue de la Bourse.
ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirrier, 114, route Saint-Leu, à Enghien.
ROSSETTI, Professeur à l'Université de Padoue (Italie).
ROUSSE, Professeur au Lycée de Saint-Étienne, 23, rue Saint-Étienne.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 155, boulevard Saint-Germain.

MM.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.

SALET, Maître de conférences de Chimie à la Sorbonne, 120, boulevard Saint-Germain.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 61, avenue de Villiers.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 36, rue du Faubourg-Saint-Germain.

SCOLA, 67, rue de Provence.

SEBERT, Commandant d'Artillerie de Marine, 17, boulevard de Courcelles.

SÉGUIN, ancien Recteur de l'Académie des Sciences de Caen.

SEIGNETTE (**Adrien**), Licencié ès Sciences, 87, rue du Bac.

SERRÉ-GUINO, Professeur au Lycée de Bordeaux.

SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SICCARDI (**le Comte Émile**), Ingénieur, 7, via Cavour, à Turin (Italie).

SIMOUTRE (**l'Abbé**), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Docteur es Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Collège Rollin, 116, rue de Rennes.

SIVRY (**L. de**), Rédacteur au Ministère des Affaires étrangères, 32, rue de Verneuil.

SOURDEVAL (**de**), 22, rue Bergère.

SPOTTISWOODE (**W.**), Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur à Marseille.

STEPANOFF, Préparateur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

TERNANT, Repr[t] de la C[ie] de l'Eastern Telegraph, 62, boul. de Longchamps, à Marseille.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (le baron **Paul**), Membre de l'Institut, 6, place Saint-Sulpice.

THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.

THOLLON, 3, rue Soufflot.

THOMSON (**Silvanus-P.**), Professeur au Collège de l'Université de Bristol (Angleterre).

MM.

THOMSON (**Sir William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow (Écosse).

THYRION, Professeur au Collège de Fontainebleau.

TILMANT (**Victor**), Directeur de l'École supérieure à Lille.

TIMIRIAZEFF, Professeur de Physiologie végétale, à Moscou (Russie).

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Attaché au Bureau central météorologique, 82, avenue Marceau.

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 50, avenue de Wagram.

TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.

TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).

TRIPIER (**le Dr**), 4, rue de Hanovre.

TROTIN, Inspecteur des lignes télégraphiques, à Nevers.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.

TURIÈRE, Professeur au Collège de Bédarieux.

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ (**Fiquet-Benoni**), Négociant, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VAN DER VLIT, Privat-Docent de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg.

VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électromagnétiques, 67, avenue de Wagram.

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.

VIGNES, Professeur au Collège Chaptal, 15, rue Véron.

VILLIERS (**Antoine**), 8, rue du Havre.

VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).

VIOLLE, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

VIORRAIN, Préparateur de Chimie, 65, rue du Cardinal-Lemoine.

WLADIMIRSKI (**Alexis**), Professeur de Physique à l'École technique de Moscou (Russie).

WAHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WARREN DE LA RUE, 73, Portland place, Londres, W.

WERLEIN, Constructeur d'instruments d'Optique, 11, rue Berthollet.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, 127, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 81, rue des Feuillantines.

WUNSCHENDORFF, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 17, rue Jeanne-d'Arc, à Rouen.

XAMBEU, Professeur au Collège de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (J.-A.), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (Louis-L.), Ingénieur des Mines du Chili, 202, calle Catedral, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'École Impériale technique, à Moscou (Russie).

6 février 1880.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

5901 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

